



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**  
**ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

## **OPTIMALIZACE LEPENÍ STŘECHY AUTOBUSU** **OPTIMIALIZATION OF BUS ROOF GLUEING**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**  
MASTER'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**Bc. VOJTĚCH JAROŠ**

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

**Ing. JAROSLAV KUBÍČEK**

BRNO 2012

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2011/12

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Vojtěch Jaroš

který/která studuje v **magisterském studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie a průmyslový management (2303T005)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

### **Optimalizace lepení střechy autobusu**

v anglickém jazyce:

### **Optimization of bus roof glueing**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Vývoj v automobilní technice se výrazně zaměřuje na využití lepidel a tmelů v konstrukci karoserií. DP řeší postup lepení střechy autobusu s možností délkových dilatací v závislosti na změnách okolní teploty.

Cíle diplomové práce:

- 1) Současný stav problematiky výroby karoserií autobusů
- 2) Literární studie zaměřená na aplikaci lepidel v dopravních systémech
- 3) Návrh experimentální práce
- 4) Vypracování experimentální práce
- 5) Výhodnocení a závěr



Seznam odborné literatury:

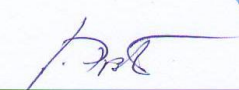
- 1) KOLEKTIV AUTORŮ. Loctite, Worldwide Design Handbook. 2 vyd. Mainz: Erasmusdruck GmbH.1998. 452s. ISBN 0-96 5590-0-5
- 2) OSTEN,M. Práce s lepidly a tmely. 3vyd. Praha: Grada Publishing s.r.o.1996. 136s. ISBN 80-7169-338-3
- 3) PETERKA, Jindřich. Lepení konstrukčních materiálů ve strojírenství, Praha: SNTL, 1980, 1. vydání, 788 s.
- 4) FREJDIN, Anatolij. Pevnost' a životnost' lepených spojov, Bratislava: Alfa, 1981, 1. vydání, 112 s.
- 5) Loctite - vysoce výkonná lepidla a tmely,[vid.15.listopad 2011] Dostupné z [http://www.loctite.cz/cps/rde/xchg/henkel\\_czc/hs.xsl/homepage.htm](http://www.loctite.cz/cps/rde/xchg/henkel_czc/hs.xsl/homepage.htm)

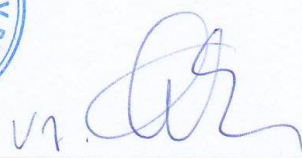
Vedoucí diplomové práce:Ing. Jaroslav Kubíček

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/12.

V Brně, dne 23.11.2011



  
prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.  
Ředitel ústavu

  
prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.  
Děkan

## ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá zvýšením produktivity lepení a požadavkem na snížení hmotnosti, při zachování tuhosti, střech autobusů. První část je věnována popisu stávající technologie lepení střech autobusu. Následuje popis teoretických předpokladů lepeného spoje. Řešení je navrženo pomocí lepení s urychlovačem, jsou zde navržena a porovnána dvě lepidla od firmy DINITROL a od firmy SIKA. Následuje výběr a podrobný popis navržené technologie. Na závěr je předložen projekt odlehčené konstrukce střechy vozu z lepených sendvičových panelů.

### Klíčová slova

Lepení střechy autobusu, lepidla s urychlovačem, lepená sendvičová konstrukce.

## ABSTRACT

The main object of this master's thesis is to increase productivity glueing and lowering the weight of the bus roof while maintaining its toughness. The first part describes the present glueing technologies. Subsequently, there is adduced theoretically various hypothesis about the glue seam. The proposed solution is to use the glue containing accelerators. Two glues from the companies DINITROL and SIKA are suggested and compared. The following chapter details the suggested technology and describes its possibilities. The final part presents the project of ultralight roof made from sandwich panels.

### Key words

Glueing roof of bus, glue with accelerator, project of sandwich roof.

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

JAROŠ, Vojtěch. *Optimalizace lepení střechy autobusu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 60s., 3 přílohy. Vedoucí diplomové práce Ing. JAROSLAV KUBÍČEK.

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma *Optimalizace lepení střechy autobusu* vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum 21. 5. 2012

.....

Podpis

## **Poděkování**

Děkuji tímto vedoucímu diplomové práce Ing. Jaroslavu Kubíčkoví a vedoucímu technologovi firmy SOR Libchavy Ing. Martinu Drábkovi za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce.

## OBSAH

Abstrakt.....	3
Prohlášení.....	5
Poděkování .....	6
Obsah .....	7
1 Úvod .....	8
1.1 Historie firmy, výrobní program.....	9
2 Popis stávající technologie lepení střech.....	10
3 Teoretické předpoklady lepeného spoje .....	11
3.1 Adheze .....	12
3.1.1 Teorie mechanické adheze .....	13
3.1.2 Teorie polarizace .....	13
3.1.3 Teorie elektrostatická .....	15
3.1.4 Teorie difúze .....	15
3.1.5 Teorie adsorpce .....	15
3.2 Koheze .....	16
3.3 Příprava povrchu před lepením .....	16
4 Výhody a nevýhody lepeného spoje .....	18
5 Druhy lepidel.....	19
6 Návrh experimentální práce.....	21
6.1 Lepení lepidlem DINITROL 515 A/B .....	21
6.2 Lepení lepidlem SIKAFLEX 265 BOOSTER 20W .....	23
7 Experimentální část - zkoušky pevnosti a přilnavosti lepidla .....	24
7.1 Příprava vzorků .....	24
7.2 Zkouška lepidla DINITROL 515 A/B .....	24
7.3 Zkouška lepidla SIKAFLEX 265 BOOSTER 20W.....	39
8 Popis a možnosti navrhovaného řešení.....	42
8.1 Navržení řešení nanášení .....	42
8.2 Návrh investice do vydávacího zařízení .....	43
8.3 Vlastnosti navrhovaného lepidla .....	45
8.4 Popis vydávacího zařízení.....	46
8.5 Kompenzace rozdílné tepelné roztažnosti .....	48
8.6 Výpočet potřebné tloušťky lepeného spoje.....	48
9 Projekt odlehčené sendvičové konstrukce střechy .....	50
9.1 Popis sendvičové konstrukce .....	51
9.2 Zkoušky lepidel pro sendvičovou konstrukci.....	52
9.2.1 Zkoušky pevnosti a přilnavosti lepidla Plexus <sup>TM</sup> MA422.....	52
9.2.2 Zkoušky pevnosti vybraných konstrukčních uzlů autobusu .....	53
10 Diskuze .....	56
Závěr.....	57
Seznam použitých zdrojů .....	58
Seznam použitých zkratk a symbolů .....	59
Seznam příloh.....	60

## 1 ÚVOD

Tato práce se zabývá technologií lepení, která má široké uplatnění zejména z důvodu rovnoměrného rozložení napětí a možnosti spojování různých konstrukčních materiálů. S nárůstem využití plastů v automobilovém průmyslu bylo nutno řešit jejich upevnění ke skeletu vozu, které je spojeno s vymezením rozdílné teplotní roztažnosti.

Historie lepeného spoje sahá až do doby kamenné, kde se technologie lepení používala k výrobě věder z březové kůry pomocí březové smoly. Smola se roztavila pomocí nahřátého klínu podobně jako pájka u pájeného spoje. Egypťané používali lepidla živočišného původu k lepení ozdob na dřevěné rakve. Babylóňané lepili oči ze slonoviny soch z babylonských chrámů. Toto lepidlo zde vydrželo téměř 6000 let. Již v době psaní starého zákona byl znám fakt, že lepit lze pouze určité materiály. Například Ješú ben Sirá v knize Ecclesiastikus píše „Učit blázny je totéž jako lepit střepy“.

V Holandsku byly již v roce 1690 založeny plantáže na suroviny k výrobě kluhu. Roku 1814 byl v Americe udělen první patent na výrobu lepidla. Mezníkem ve vývoji lepidel byl v roce 1845 objev nitrace celulosy. První továrna na výrobu celuloidu vznikla v Americe roku 1872. Lepidla byla používána převážně při výrobě překližky a obuvi. Obuvnictví použilo jako první chloroprenová lepidla, která byla později nahrazena lepidly tavnými. V roce 1912 byl na výstavě v Budyšině předveden výrobní postup lepené obuvi včetně jednoúčelových strojů na nanášení lepidla.

V průběhu 2. světové války byly lepené spoje hojně využívány v leteckém průmyslu. Například v roce 1943 umožnil vývoj lepidla REDUX na bázi formaldehydové pryskyřice modifikované polyvinylformalem sériovou výrobu britského letounu de Havilland DH-103 HORNET viz obr. 1.1. Letoun byl smíšené konstrukce, lepení bylo použito na sklápěcích křídlech letounu ke spojení duralu s překližkou <sup>1</sup>.



Obr. 1.1 de Havilland DH-103 HORNET <sup>2</sup>



Tato diplomová práce se zabývá optimalizací procesu lepení na pracovišti lepení střechy autobusu. Popisuje možná řešení požadavku na zvýšení průchodnosti tohoto pracoviště a přizpůsobení požadovanému zkrácení taktu na 4 hodiny. V rámci projektu elektrobuse vznikl požadavek na snížení pohotovostní hmotnosti vozu a s ní spojené zvýšení dojezdu vozidla. Pro snížení hmotnosti a zároveň zachování pevnosti a tuhosti konstrukce střechy byla navržena sendvičová konstrukce.

### 1.1 HISTORIE FIRMY, VÝROBNÍ PROGRAM

Společnost SOR Libchavy, spol. s r.o. vznikla privatizací stejnojmenného strojírenského podniku v roce 1991. Podnik se do té doby zabýval vývojem a malosériovou výrobou zemědělské techniky. Od založení firmy je její program zaměřen na vývoj a výrobu autobusů střední třídy. Ve velice krátké době byl vyvinut, odzkoušen a uveden do provozu meziměstský autobus s označením SOR C 7,5. Postupně z něho byly odvozeny varianty turistická a městská. Na základě požadavků zákazníků byly autobusy prodlouženy také na 9,5m, 10,5m a 12 m s pohonem na naftu, případně zemní plyn CNG. Koncem roku 2006 byl doplněn sortiment vyráběných vozů o autobusy o délce 12m a 18m v městském nízkopodlažním provedení viz obr. 1.2. Další kategorií vyráběných vozidel by se měly stát trolejbusy a elektrobuses, u kterých v současnosti probíhá zkušební provoz.



Obr. 1.2 Městský plně nízkopodlažní autobus SOR NB18 <sup>5</sup>

Firma SOR je v současnosti druhým největším výrobcem autobusů v České Republice. Vyráběné množství se nyní ustálilo na počtu 10 vozů za týden.

Zásadní výhodou autobusů SOR je nízká pohotovostní hmotnost a s tím spojená úspora pohonných hmot o cca 14 %.

Největším úspěchem a zároveň největší zakázkou v historii firmy je kontrakt na dodávku 620 nízkopodlažních vozů pro DP hlavního města Prahy <sup>5</sup>.

## 2 POPIS STÁVAJÍCÍ TECHNOLOGIE LEPENÍ STŘECH

Střecha vozu je u autobusů SOR řešena jako svařenec z konstrukční oceli, který je opláštěn laminátem s vnější finální úpravou (gelcoatem). Vnější laminátové opláštění má řadu výhod např. nízké výrobní náklady, nízká hmotnost, vysoká UV stabilita. Svařenec kostry střechy je lepen s vnějším laminátovým opláštěním ještě před přivařením do sestavy skeletu vozu. Se zvyšující se produkcí vozů bylo nutno řešit zvýšení průchodnosti tohoto pracoviště.

Teplota	Relativní vlhkost									
C°	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
-20°	0.09	0.18	0.27	0.36	0.45	0.54	0.63	0.72	0.81	0.9
-10°	0.22	0.44	0.66	0.88	1.10	1.32	1.54	1.76	1.98	2.2
0°	0.48	0.96	1.44	1.92	2.4	2.88	3.36	3.84	4.32	4.8
+10°	0.94	1.88	2.82	3.76	4.7	5.64	6.58	7.52	8.46	9.4
<b>+23°</b>	1.73	3.46	5.19	6.92	<b>8.65</b>	10.37	12.10	13.83	15.56	17.3
+30°	3.04	6.07	9.11	12.14	15.18	18.22	21.25	24.29	27.32	30.3
+40°	5.11	10.23	15.34	20.46	25.57	30.68	35.80	40.91	46.03	51.1

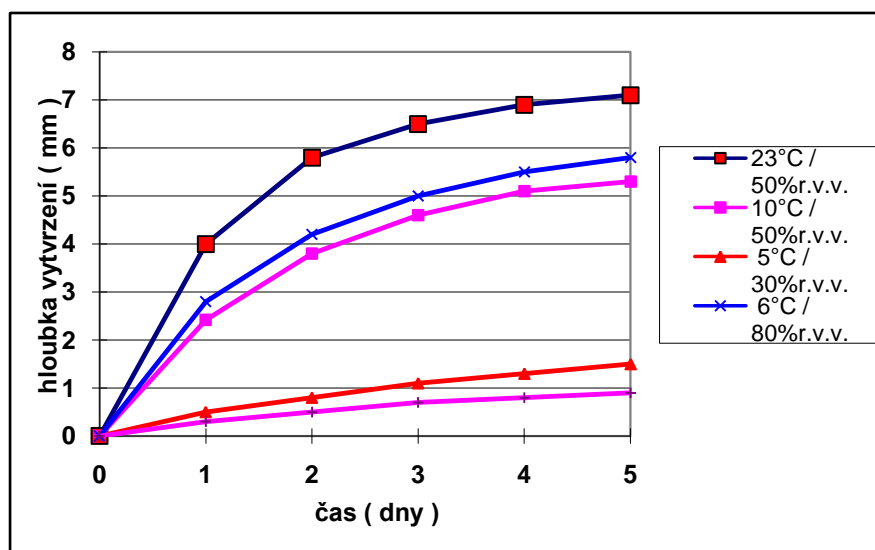
Obr. 2.1 Množství vody ve vzduchu v  $\text{g.m}^{-3}$  v závislosti na teplotě <sup>9</sup>

Kostra střechy je lepena v přípravku viz obr. 2.2 jednokomponentním polyuretanovým lepidlem SIKAFLEX 252. Vzhledem k ploše kostry svařence určené k nanášení lepidla a omezené době mezi nanesením lepidla a slepením je nutné aby, lepidlo nanášeli zároveň dva až tři pracovníci.



Obr. 2.2 Přípravek pro lepení střechy autobusu

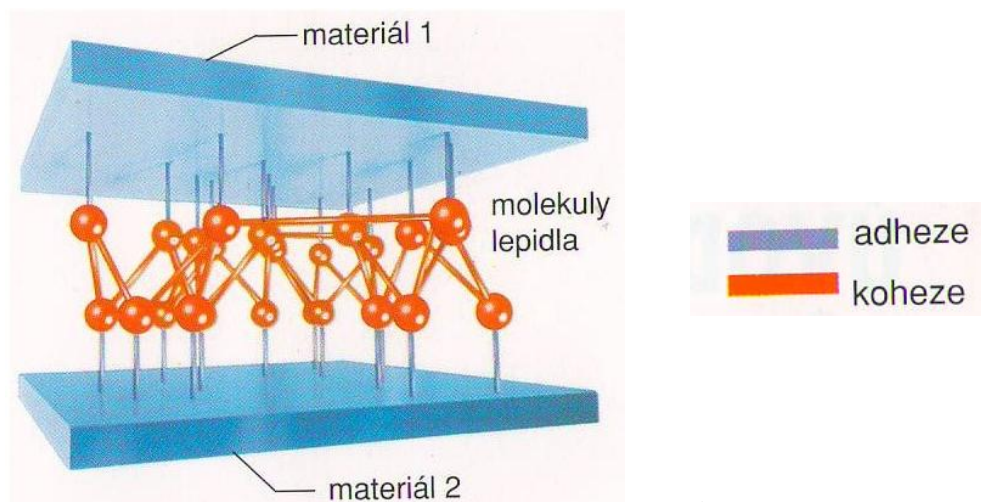
Největším problémem však je doba vytvrzení lepidla. Jednokomponentní polyuretanová lepidla vytvrzují pomocí vzdušné vlhkosti viz obr. 2.3. Pro vyvednutí z přípravku a následnou manipulaci je proto nutné vyčkat minimálně 24 hodin. Tento technologický čas je přijatelný pouze při výrobě jednoho vozu denně. S požadavkem na navýšení výroby a zároveň zachování pouze jednosměnného provozu je nutno zkrátit celkový čas nanášení a vytvrzování na 4 hodiny. Dalším problémem je závislost vytvrzování na vnějších klimatických podmínkách. Rychlost vytvrzování je zpravidla vyšší v letních měsících kdy se však zkracuje doba zpracovatelnosti lepidla a naopak nižší v zimním období kdy klesá relativní vlhkost vzduchu viz obr. 2.1.



Obr. 2.3 Vytvrzování jednokomponentních polyuretanových lepidel SIKAFLEX<sup>8</sup>

### 3 TEORETICKÉ PŘEDPOKLADY LEPENÉHO SPOJE

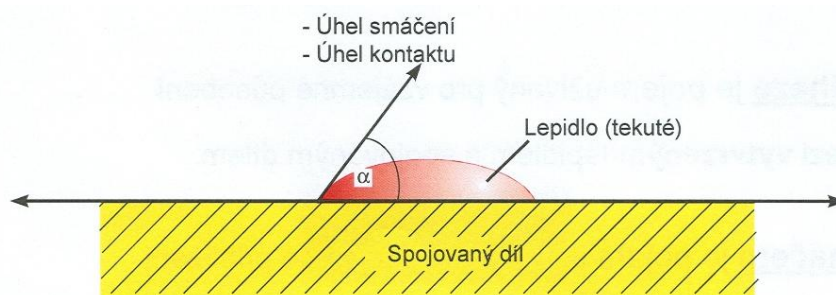
Pro lepený spoj jsou nejdůležitější dva základní parametry. Přílnavost lepidla na lepený materiál adheze a vlastní soudržnost lepidla koheze viz obr. 3.1.



Obr. 3.1 Adhezní a kohezní síly v lepeném spoji<sup>3</sup>

### 3.1 ADHEZE

Je přilnavostní síla lepeného spoje na kontaktním povrchu lepeného materiálu. Spojení dvou tuhých materiálů bez lepidla je obtížné z důvodu nutnosti přiblížení na molekulární vzdálenost, tedy na menší než  $3 \cdot 10^{-8}$  cm. Technicky je tento požadavek téměř nesplnitelný. Tyto fyzikální síly přitažlivosti a absorpce nazýváme Wan Der Waalsovy síly. Vliv těchto mezimolekulárních sil je značně oslaben v případě, že se lepidlo nedostane do těsného styku s povrchem lepeného materiálu, například vlivem relativní drsnosti povrchu. Z tohoto důvodu je velice důležité, aby lepidlo pronikalo do povrchových nerovností a dokonale smáčelo lepený povrch viz obr. 3.2 a obr. 3.3<sup>3</sup>.



Obr. 3.2 Úhel smáčení<sup>4</sup>



Obr. 3.3 Souvislost úhlu smáčení a smáčivosti povrchu<sup>4</sup>

Na smáčení povrchu má rozhodující vliv povrchová energie u pevných látek a povrchové napětí u kapalin. Hodnoty vybraných materiálů jsou v tab. 3.1.

Tab. 3.1 Povrchová energie (napětí) vybraných materiálů<sup>4</sup>

Materiál	Povrchová energie (napětí) [mJ.m <sup>-2</sup> ]
Železo	2550
Titan	2050
Měď	1850
Voda	73
Polyamid	55
Epoxidová pryskyřice	47
Polyvinilchlorid	40
Polyetylen	31
Polypropylen	29
Silikon	21
Teflon	19



Pro dobré smáčení povrchu je nezbytné, aby povrchové napětí lepidla bylo nižší než povrchová energie lepeného materiálu. Na obr. 3.5 je znázorněno měření povrchové energie pomocí indikačních inkoustů. Na obr. 3.6 je přístroj na měření úhlu smáčení povrchu.



Obr. 3.5 Indikační inkousty pro měření povrchové energie lepeného materiálu <sup>4</sup>



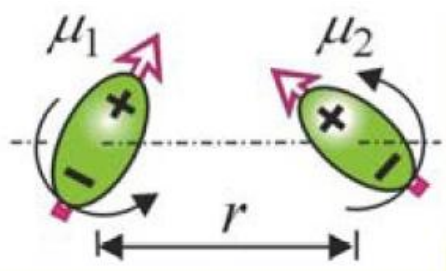
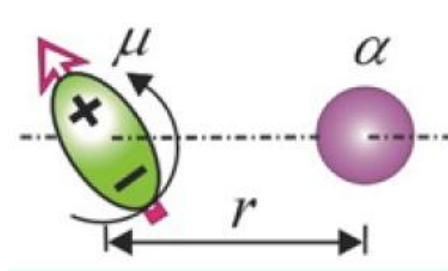
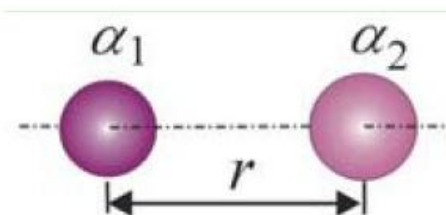
Obr. 3.6 Přístroj pro měření úhlu smáčení <sup>4</sup>

### 3.1.1 Teorie mechanické adheze

Přilnavost lepeného spoje je dle této teorie založena na průniku lepidla do nerovností povrchu a pórů, kde ztuhne a vytvoří mechanické spojení. Tato teorie ovšem neplatí u neporézních materiálů, jako jsou například kovy nebo sklo. Na příklad při lepení dřeva bylo dokázáno, že lepené spoje na řezech podélných k vláknům mají vyšší mechanickou pevnost, i když mají méně pórů než řezy k nim kolmé <sup>6</sup>.

### 3.1.2 Teorie polarizace

Teorii polarizace adheze zveřejnil v roce 1935 de Bruyn. Atomy prvků jsou v molekule spojeny pevnými primárními chemickými vazbami. Iontovými, kovalentními nebo kovovými. Liší se oblastí výskytu a hodnotou disociační energie (energie potřebné k jejich zrušení). Mezimolekulární přitažlivé síly fyzikálního charakteru označujeme jako sekundární neboli Van der Waalsovy. Tyto síly se dále dělí na elektrostatické Keesomovy, indukční Debyeovy a disperzní Londonovy. Vznik adheze dělíme do dvou fází. První fází je absolutní kontakt molekul lepeného materiálu s molekulami lepidla. Druhá fáze vede k adsorpci, což je zachycení molekul lepidla na lepeném povrchu vlivem sekundárních přitažlivých sil <sup>6</sup>.

Obr. 3.7 Dipólové (Keesomovy) síly <sup>7</sup>Obr. 3.8 Indukované (Debyeovy) síly <sup>7</sup>Obr. 3.9 Disperzní (Londonovy) síly <sup>7</sup>

Elektrostatické síly Keesomovy vznikají vzájemným působením permanentních dipólů viz obr. 3.7.

Stupeň polarity je dán dipólovým momentem  $\mu$

$$\mu = 2 \cdot r \cdot e \quad (2.1)$$

$r$  – vzdálenost atomů,  $e$  – náboj

Energie elektrostatické Keesomovy síly  $E_K$

$$E_K = \frac{\mu}{r} \quad (2.2)$$

$\mu$  - dipólový moment,  $r$  – vzdálenost na kterou působí

Indukční síly Debyeovy jsou důsledkem působení permanentního dipólu a polarizovaných molekul vlivem indukce viz obr. 3.8.

Disperzní síly Londonovy vyvolávají polarizované molekuly sousedních atomů v důsledku protisměrného pohybu valenčních elektronů viz obr. 3.9.

Energie disperzní Londonovy síly  $E_L$

$$E_L = \frac{3}{4} \cdot h \cdot V_0 \cdot \left( \frac{\alpha^2}{r^6} \right) \quad (2.3)$$

$h$  – Planckova konstanta

$\alpha$  – polarizovatelnost molekuly,  
 $V_0$  – nulový bod frekvence a elektronů,  
 $r$  – vzdálenost působících sil.

### 3.1.3 Teorie elektrostatická

Vychází ze skutečnosti, že přilnavost lepidla na kov nebo vysokomolekulární plasty je závislá na rychlosti destrukce spoje. Se zvyšující se rychlostí odtrhování lepených spojů ve vakuu byla naměřena zvyšující se emise elektronů. Jedna z hraničních vrstev je bohatší a druhá chudší na elektrony, tím se vytváří dvojvrstva, která funguje jako mikrokondenzátor. Působí zde síly, jež chtějí vrstvy oddálit, a tím se zvětšují rozdíly potenciálů do okamžiku roztržení, kdy se rozdíl vyrovná. Při pomalém nárůstu síly na lepený spoj mohou elektrické náboje pomalu odtékat, ale při vysoké rychlosti se elektrické náboje v hraniční vrstvě hromadí <sup>6</sup>.

### 3.1.4 Teorie difúze

Vysvětluje adhezi mezi materiály na základě mikro-Brownova pohybu molekul. Ten zajišťuje přechod molekul z lepeného materiálu do lepidla a opačně. Aby tato teorie platila, musí se splnit dva požadavky. Makromolekuly adherendu a adheziva mají dostatečnou pohyblivost a polymerní látky, které jsou v lepidle a lepeném materiálu, jsou vzájemně mísitelné a rozpustné. Difúze byla prokázána jak pod mikroskopem pomocí lepidel přibarvených fluoreskující přísadou tak radiometricky.

Zkouškami byly potvrzeny tyto vlastnosti difúze:

- ✓ s rostoucím časem kontaktu lepidla s lepeným materiálem adheze stoupá,
- ✓ s rostoucí teplotou stoupá rychlost difúze molekul,
- ✓ menší molekuly difundují rychleji,
- ✓ rozvětvené molekuly a kopolymery difúzi brání <sup>6</sup>.

### 3.1.5 Teorie adsorpce

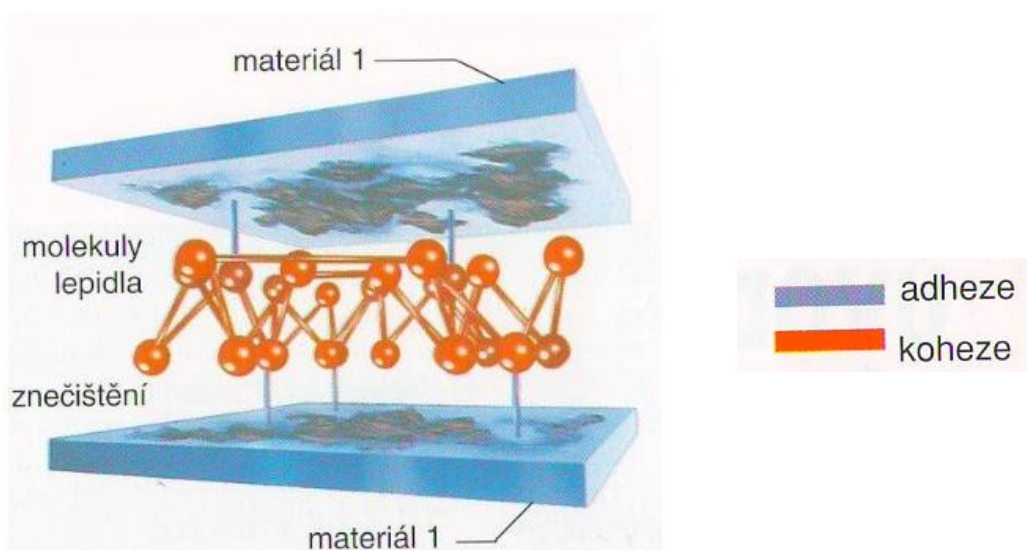
Podstatou je smáčení pevného povrchu kapalinou. Na rozhraní dvou různých fází (kapalina, plyn, pevná látka) vzniká mezifázové rozhraní obsahující volnou energii. To má za následek, že např. kapalina, u které působí na povrchu jednostranné vnitřní síly má tendenci vytvořit tvar s co nejmenším povrchem – kouli viz obr. 3.3. Volná povrchová energie u pevné látky má zásadní vliv na smáčení kapalinou (lepidlem). V případě převýšení sil povrchové energie pevné látky nad silami sbalujícími kapalinu v kapku dojde k žádanému rozprostření kapaliny po povrchu lepeného materiálu <sup>6</sup>.

### 3.2 KOHEZE

Je soudržná síla působící mezi molekulami lepidla. Jedná se o síly Van der Waalsovy a síly vzájemného propletení molekul polymerů. Každý řetězec je tak pevný jak je pevná jeho nejslabší část, proto je žádoucí, aby adhezní a kohezní síly v lepeném spoji byly vyrovnány<sup>6</sup>.

### 3.3 PŘÍPRAVA POVRCHU PŘED LEPENÍM

Pevnost lepeného spoje je do značné míry závislá na přilnavosti lepidla k lepenému povrchu. Čím vyšší pozornost budeme věnovat řádné předpřípravě povrchu, tím vyšší bude i konečná pevnost lepeného spoje. Na obr. 3.10 je vidět ztráta adhezních sil při lepení znečištěného materiálu<sup>3</sup>.



Obr. 3.10 Vliv znečištění povrchu lepených materiálů na adhezi lepidla<sup>3</sup>

#### Povrchová úprava

Její funkcí je zlepšit smáčení povrchu lepeného materiálu a tím i adhezi lepidla. Další výhodou jsou zaručené shodné vlastnosti povrchu lepených součástí a dlouhodobá stálost podkladu lepeného spoje<sup>3</sup>.

#### Čištění rozpouštědly

Čističe na bázi rozpouštědel dělíme do čtyř základních skupin:

- ✓ alkoholy (izopropanol),
- ✓ alkany (hexan, pentan),
- ✓ estery,
- ✓ ketony (aceton).

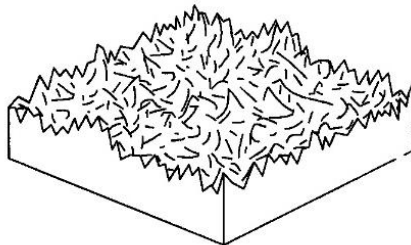
#### Čištění přípravky na vodní bázi

Nevýhodou je delší doba odvětrání a nebezpečí vzniku koroze u součástí bez povrchové úpravy.

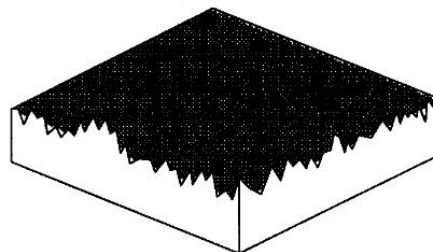


### Mechanická předpříprava povrchu – tryskání, broušení

Důvodem pro mechanickou předpřípravu povrchu je odstranění vrstev zabraňujících adhezi (zoxidovaný povrch) a zvětšení smáčené plochy viz obr. 3.11.



Skutečný povrch



Smáčená plocha

Obr. 3.11 Zvětšení smáčené plochy po mechanické předpřípravě povrchu <sup>4</sup>

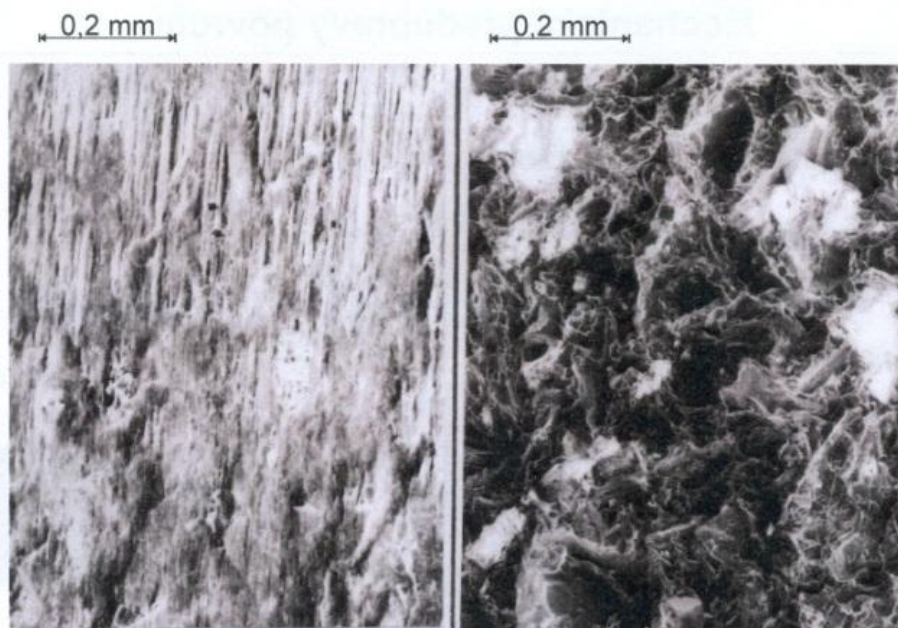
### Chemická předpříprava povrchu – použití primeru

Primery se skládají z rozpouštědla a přípravku zvyšujícího přilnavost lepidla případně z monomerů lepidla. Důvodem použití je optimální navázání případně přímo chemická vazba na povrch lepené součásti a doplňkové očištění obsaženým rozpouštědlem viz obr. 3.12.

### Tepelná předpříprava povrchu – aktivace povrchu plamenem

### Plazmatická předpříprava povrchu – korona, atmosférická a nízkotlaká plazma

Tepelná příp. plazmatická předpříprava má za následek natáčení dipólů na povrchu součásti. To umožňuje usazování atomárního kyslíku a tvoření dalších dipólů čímž se zvyšuje povrchové napětí součásti <sup>4</sup>.



odmaštěno

otryskáno

Obr. 3.12 Porovnání odmaštěného a otryskaného povrchu <sup>4</sup>

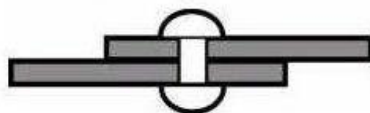
#### 4 VÝHODY A NEVÝHODY LEPENÉHO SPOJE

Lepení je stále více používaným způsobem spojování materiálů. V mnoha případech došlo k nahrazení šroubových, svařovaných nebo nýťovaných spojů. Důvody proč se tomu tak děje jsou popsány v této kapitole.

Výhody:

- ✓ rovnoměrné rozložení napětí viz obr. 4.1
- ✓ žádné tepelné ovlivnění spojovaného materiálu a s tím spojené deformace,
- ✓ možnost spojování velice odlišných materiálů,
- ✓ vyrovnání případných výrobních tolerancí,
- ✓ vysoká dynamická únosnost,
- ✓ velice dobré tlumení vibrací,
- ✓ tlumí a izoluje hluk šířený konstrukcí,
- ✓ brání vzniku galvanické koroze viz obr. 4.2
- ✓ difúzní bariéra proti pronikání prachu, vody, ...<sup>8</sup>.

Nýťovaný spoj



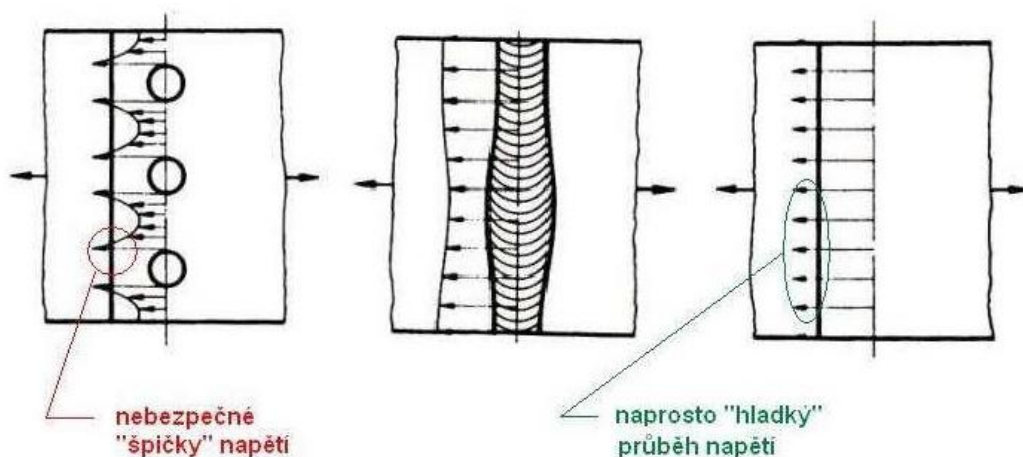
Svařovaný spoj



Lepený spoj



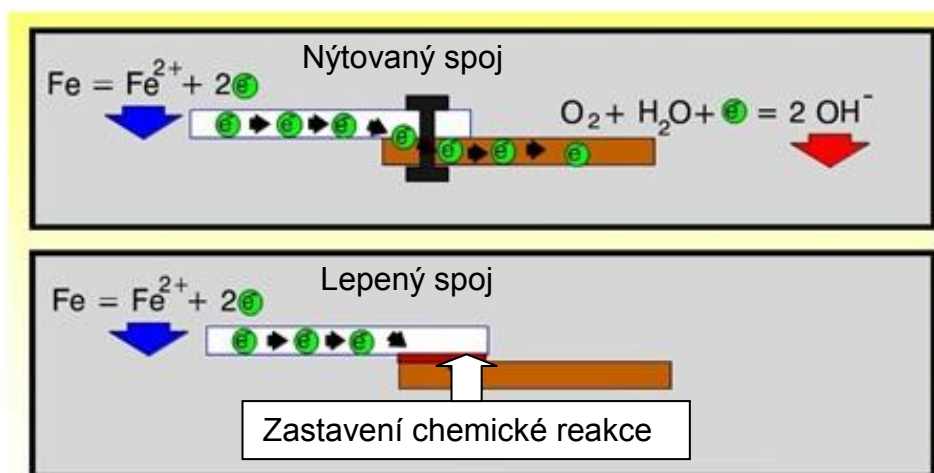
Průběh napětí



Obr. 4.1 Porovnání průběhu napětí nýtování, svařování a lepení <sup>8</sup>

Nevýhody:

- ✓ nízká počáteční pevnost,
- ✓ nákladná předpříprava spojovaných dílů,
- ✓ náchylnost k plastickému tečení při statickém namáhání
- ✓ omezená tvarová stálost při tepelném namáhání,
- ✓ lepené spoje nejsou rozebíratelné <sup>8</sup>.

Obr. 4.2 Zastavení galvanické koroze na lepeném spoji <sup>8</sup>

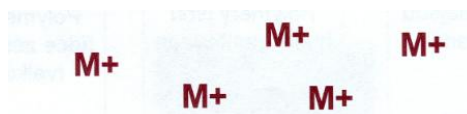
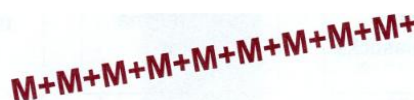
## 5 DRUHY LEPIDEL

Organická lepidla dělíme dle různých hledisek, jedním ze základních je způsob vytvrzování. Z tohoto hlediska dělíme lepidla na reakční a tuhnoucí. Reakční jsou lepidla vytvrzující chemickou reakcí, při které z monomerů vznikají polymery. U tuhnoucích lepidel vytvrzují již vzniklé polymery fyzikální reakcí.

### Reakční lepidla

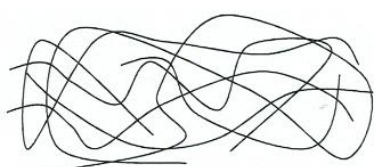
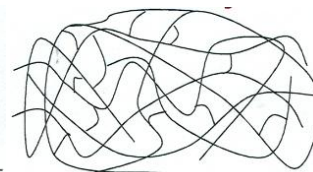
Vytvrzují polyadící, kdy spolu reagují dva druhy monomerů (jedno komponentní příp. dvou komponentní epoxidy a polyuretany), polykondenzací, kdy spolu reagují dva druhy monomerů a vytváří se štěpný produkt nebo polymerací (silikony, MS polymery), kde reaguje jeden druh monomeru s tvrdidlem (kyanakrylátová, akrylátová a anaerobní lepidla). Výchozím produktem je monomer, což je menší molekula, která může alespoň na dvou stranách reagovat

s dalšími monomery. Vzniklý polymer je organická látka složená mnohačetným spojením základní molekuly (monomeru) viz obr. 5.1 a obr. 5.2 <sup>4</sup>.

Obr. 5.1 Shluk monomerů <sup>4</sup>Obr. 5.2 Vytvořený polymer <sup>4</sup>

Polymery dělíme na tři základní skupiny:

- **termoplasty** – navzájem propletené polymery, mezi kterými chybí chemická vazba viz obr. 5.3,
- **duromery** – polymery jsou zasíťované viz obr. 5.4,
- **elastomery** – polymery řídce zasíťované (velká oka) proto jsou velice pružné (podobné pryži) viz obr. 5.5.

Obr. 5.3 Termoplast <sup>4</sup>Obr. 5.4 Duromer <sup>4</sup>Obr. 5.5 Elastomer <sup>4</sup>

Dělení reakčních lepidel dle druhu vytvrzování:

- Lepidla vytvrzující teplem – jedno komponentní epoxidové pryskyřice,
- Lepidla vytvrzující vlhkostí – jedno komponentní polyuretany, MS polymery, silikony a hybridy (modifikované polyuretany).

### Tuhnoucí lepidla

Vytvrzují pouze snížením teploty, odtěkáním rozpouštědel případně jsou stále lepivá. Jedná se zpravidla o lepidla nanášená plošně s nízkou pevností (čalounická lepidla, lepidla samolepek...) <sup>4</sup>.

Dělení tuhnuoucích lepidel dle druhu vytvrzování:

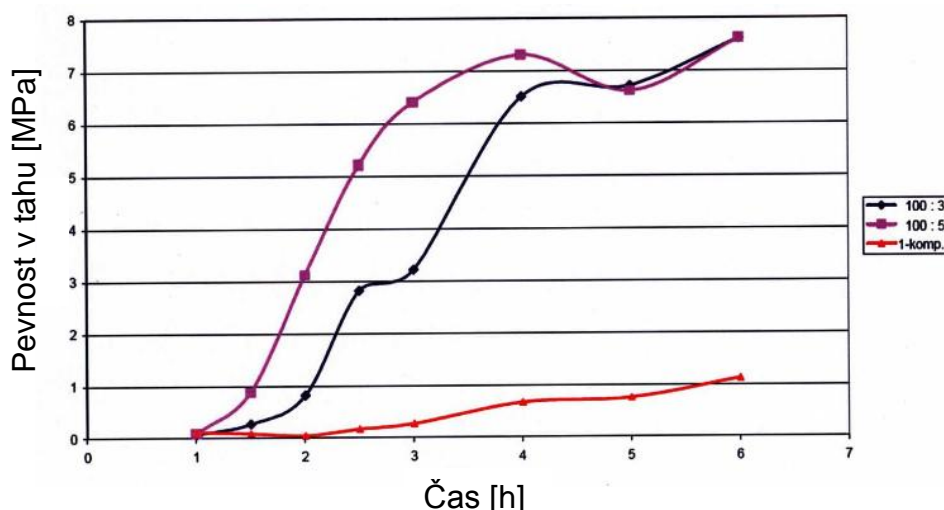
- ztuhnutí – tavná lepidla (hotmelty),
- odpaření – rozpouštědlová, disperzní, kontaktní,
- trvale lepivá – lepidla citlivá na tlak.

## 6 NÁVRH EXPERIMENTÁLNÍ PRÁCE

Pro urychlení procesu zrání lepeného spoje byla vybrána technologie lepení jednokomponentním lepidlem s urychlovačem. Tato technologie umožňuje přizpůsobení taktu na pracovišti lepení střeš čtyřhodinovému taktu na montážní lince bez nutnosti rozšíření výrobních prostorů a výroby dalších lepicích přípravků.

### 6.1 LEPENÍ LEPIDLEM DINITROL 515 A/B

Do jednokomponentního polyuretanu je zpravidla pomocí statického mixeru přimíchávána komponenta B. Ta zajišťuje potřebné množství vlhkosti pro vytvrzení lepidla v celém objemu za dobu danou mísícím poměrem. Procento komponenty B se zpravidla pohybuje od 2 do 5 procent. Rychlost vytvrzování je od dvou do čtyř hodin. Po tomto intervalu je lepidlo vyzrálé v celém svém objemu a lepený spoj má cca 60 procent své finální pevnosti viz obr. 6.1. Tato pevnost je zpravidla dostačující pro odstranění fixačních přípravků. Velkou výhodou tohoto řešení je vytvrzení lepidla i při výpadku dodávky urychlovače.



Obr. 6.1 Závislost mísícího poměru na době vytvrzení lepidla DINITROL 515 A/B<sup>9</sup>

Možnosti balení těchto lepidel jsou buď kartušové provedení s nástavcem s urychlovačem, viz obr. 6.2 nebo v sudech. První možnost je vzhledem k ceně a velikosti balení určena pouze pro servisní účely např. výměna skla vozu se zkrácenou dobou odstavení vozidla a se sníženým ovlivněním zrání klimatickými podmínkami. V případě servisního balení je dokonce nutno vzhledem k vysoké viskozitě lepidla kartuše před aplikací zahřát na šedesát stupňů celsia ve speciálních pecích viz obr. 6.3. Čas nanášení se však snížil na pět minut. Druhý způsob používaný zpravidla ve výrobních závodech vyžaduje použití jednoúčelového zařízení – vydávacích pump viz obr. 6.4 a obr. 6.5. Tato zařízení jsou poměrně nákladná, ale cena materiálu v sudech je oproti servisnímu balení nesrovnatelně nižší. Návrh investice do daného zařízení je proto zajištěna viz kapitola 8.2.



Obr. 6.2 Sika tack plus booster <sup>8</sup>Obr. 6.3 Pec na ohřívání kartuší <sup>8</sup>Obr. 6.4 Vydávací zařízení výrobce SCANREX pro PU lepidla s urychlovačem <sup>10</sup>

Princip vydávacího zařízení je založen na dvou pumpách, jedna pro komponent A – lepidlo a druhá pro component B – urychlovač. Dále záleží na požadovaném vybavení stroje např. jednodušší varianta je na obr. 6.5 kde požadovaný míšicí poměr zajišťuje pákový mechanismus a není možno jej měnit. Naopak na obr. 6.4 je znázorněn stroj kde je míšicí poměr dán množstvím vydávaným jednotlivými pumpami a je řízen počítačem. U tohoto zařízení je možno měnit míšicí poměr v daném rozmezí případně vypnout dávkování komponenty B úplně a tím prodloužit životnost statického mixeru. Na obou typech zařízení je možno doplnit akustický výstražný signál v případě překročení doby zpracovatelnosti lepidla.

Obr. 6.5 Stroj TSI 615 s pákovým mechanismem <sup>11</sup>

## 6.2 LEPENÍ LEPIDLEM SIKAFLEX 265 BOOSTER 20W

Výrobce SIKA navrhl pro zrychlení procesu lepení střechy lepidlo SIKAFLEX 265 s urychlovačem SIKA BOOSTER 20W. SIKAFLEX 265 je jednokomponentní polyuretanové lepidlo, které je z důvodu zvýšené odolnosti vůči povětrnostním podmínkám určeno zpravidla pro přímé zasklívání a to jak v prvovýrobě, tak v autoopravárenství. S přidavkem urychlovače SIKA BOOSTER 20W se lepidlo stává nezávislé na obsahu vzdušné vlhkosti a teplotě v prostoru kde probíhá lepení. Mísící poměr je stanoven na 100 objemových dílů lepidla SIKAFLEX 265 a 2 objemové díly urychlovače SIKA BOOSTER 20W. Nárůst pevnosti v závislosti na čase je znázorněn v tabulce 6.1. Další fyzikální a chemické vlastnosti lepidla jsou popsány v technickém listu v příloze č. 1.

Tab. 6.1 Nárůst pevnosti lepidla

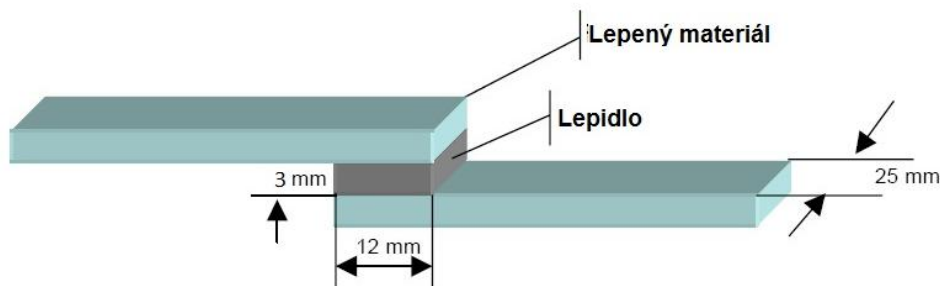
Čas [hod]	Pevnost v tahu [MPa]
1	0,25
2	1,00
4	2,00

## 7 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST - ZKOUŠKY PEVNOSTI A PŘILNAVOSTI LEPIDLA

Pro zavedení lepidla do sériové výroby je nutné provedení laboratorních zkoušek pevnosti a přilnavosti porovnávaných lepidel DINITROL 515 A/B a SI-KAFLEX 265 s urychlovačem SIKA BOOSTER 20W na námi používané lepené materiály.

### 7.1 PŘÍPRAVA VZORKŮ

Pro ověření přilnavosti a pevnosti lepidla byla zvolena zkouška převíslé smykové pevnosti v tahu dle interní směrnice firmy SIKA CQP 046-1 Tensile Lap-Shear Strength vycházející z norem ČSN EN 1465 Lepidla – Stanovení smykové pevnosti v tahu tuhých adherendů na překládaných tělesech a ISO 4587 Determination of tensile lap-shear strength of rigid-to-rigid bonded assemblies. Pro vymezení ohybového momentu a přesunutí působení síly do středu lepeného spoje byly použity 2 podložky  $\delta = 1,5\text{ mm}$ . Vzorky byly vyrobeny z konstrukční oceli S235JRG2 a skelného laminátu tedy ze stejného materiálu jako je vyrobena kostra a vnější obložení střechy vozu v požadovaných rozměrech 80x25mm viz obr. 7.1.



Obr. 7.1 Vzorek pro stanovení převíslé smykové pevnosti v tahu <sup>13</sup>

### 7.2 ZKOUŠKA LEPIDLA DINITROL 515 A/B

Vlastní zkouška byla provedena na Vysokém učení technickém v Brně na hydraulickém zkušebním stroji ZD40 /400kN/ viz obr. 7.4. Jedná se o universální trhačí zařízení, které se používá pro mechanické zkoušky technických materiálů pro namáhání v tahu, tlaku a ohybu. Stroj je vybaven vestavěným inkrementálním délkovým snímačem polohy příčnicku s rozlišením 0,01 mm a snímačem síly s řídicí jednotkou EDC 60.

Počítač je vybaven programem M-TEST v. 1.7 pro tahovou, tlakovou a ohybovou zkoušku kovových materiálů dle EN 10001-2 s vyhodnocením výsledků a grafickým zpracováním.

Pro shodné podmínky s porovnávaným lepidlem od firmy SIKA byl posuv čelisti při zkoušce ve smyku nastaven na  $20\text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ .



**Použité materiály DINITROL**

**Pro přípravu ploch k lepení byly použity tyto přípravky:**

Cleaner – aktivátor **DINITROL 520**,  
balení 1000 ml, šarže č. 361346, datum spotřeby 23. 8. 2012.

Multiprimer černý **DINITROL 550**,  
balení 250 ml, šarže č. 369438, datum spotřeby 9. 11. 2012.

Primer černý **DINITROL 530**,  
balení 250 ml, šarže č. 358090, datum spotřeby 14. 7. 2012.

Primer transparentní **DINITROL 560**,  
balení 250 ml, šarže č. 358214, datum spotřeby 17. 4. 2012.

**Vzorky byly nalepeny tímto lepidlem s urychlovačem:**

Lepidlo **DINITROL 515A**,  
balení 50 kg, šarže č. 373294, datum spotřeby 28. 9. 2012.

Urychlovač **DINITROL 515B**,  
balení 1 l, šarže č. 374681, datum spotřeby 12. 1. 2013.

Tab. 7.1 Seznam lepených vzorků lepidlem DINITROL 515 A/B

číslo vzorku	čistič	primer	lepidlo	mísící poměr	čas nanášení po naplnění
1	DINITROL 520	DINITROL 550	DINITROL 515 A/B	100/4	20 minut
2	DINITROL 520	DINITROL 550	DINITROL 515 A/B	100/4	20 minut
3	DINITROL 520	DINITROL 550	DINITROL 515 A/B	100/4	20 minut
4	DINITROL 520	DINITROL 560	DINITROL 515 A/B	100/4	20 minut
5	DINITROL 520	DINITROL 560	DINITROL 515 A/B	100/4	20 minut
6	DINITROL 520	DINITROL 560	DINITROL 515 A/B	100/4	20 minut
7	DINITROL 520	DINITROL 530	DINITROL 515 A/B	100/4	20 minut
8	DINITROL 520	DINITROL 530	DINITROL 515 A/B	100/4	20 minut
9	DINITROL 520	DINITROL 530	DINITROL 515 A/B	100/4	20 minut
10	DINITROL 520	DINITROL 560	DINITROL 515 A/B	100/4	5 minut
11	DINITROL 520	DINITROL 560	DINITROL 515 A/B	100/4	5 minut
12	DINITROL 520	DINITROL 560	DINITROL 515 A/B	100/4	5 minut
13	DINITROL 520	DINITROL 530	DINITROL 515 A/B	100/4	5 minut
14	DINITROL 520	DINITROL 530	DINITROL 515 A/B	100/4	5 minut
15	DINITROL 520	DINITROL 530	DINITROL 515 A/B	100/4	5 minut
16	DINITROL 520	DINITROL 550	DINITROL 515 A/B	100/4	5 minut
17	DINITROL 520	DINITROL 550	DINITROL 515 A/B	100/4	5 minut
18	DINITROL 520	DINITROL 550	DINITROL 515 A/B	100/4	5 minut

**Popis jednotlivých operací předpřípravy povrchů:**

SCOTCHBRITE - odstranění mechanických nečistot a oxidických vrstev i zdrsnění povrchu brusnou drátěnkou SCOTCHBRITE.

ČISTIČ - očištění a aktivace plochy přípravkem DINITROL 520, metoda práce nanést-setřít, vytěkání 5 min.

PRIMER - po dokonalém protřepání v originálním balení s kuličkou nanesen minimální spojitý film pomocí aplikačního kartáčku, vytěkání 30 minut.

Všech 18 vzorků viz obr. 7.2 bylo vyrobeno z téhož materiálu jako je kostra a opláštění střechy autobusu. Tedy ze skelného laminátu s vrstvou gelcoatu a konstrukční oceli S235 J2G2.

Pro přípravu vzorků určených ke zkoušce převísle smykové pevnosti v tahu byl použit jeden druh cleaneru a tři druhy primerů viz tab. 7.1. Pro potvrzení přilnavosti lepidla smíchaným s urychlovačem byly vzorky rozděleny do dvou skupin dle doby prodlevy mezi naplněním balení a jeho aplikací. Vzorky z první skupiny byly nalepeny do 5 minut po naplnění balení. Vzorky ze skupiny druhé byly slepeny po 20 minutách po naplnění balení.



Obr. 7.2 Nalepené vzorky pro zkoušku převísle smykové pevnosti v tahu

Veškeré vzorky byly připravovány a lepeny při teplotě 21°C a relativní vlhkosti vzduchu 45 %. Zrání vzorků probíhalo za stejné teploty a relativní vlh-

kosti vzduchu jako při jejich lepení. Po nalepení byla dodržena doba pro plného vyžrání DINITROL 515 A/B v rozsahu 48 hod.

Jednotlivé vzorky byly po přetržení hodnoceny z hlediska druhu destrukce vzorku těmito značkami:

**PPU1** – přetržení v polyuretanu = více jak z 95% adhezivní spoj

**PPU2** – převažující přetržení v PU = > 75% adhezivní spoj

**PPU3** – převažující kohezivní spoj = < 75% adhezivní spoj

**DS** – destrukce substrátu

**DSL** – adhezivní oddělení povlaku od substrátu

**SP** – separace primeru, případně lepidla od podkladu



Obr. 7.4 Hydraulický zkušební stroj ZD40 /400kN/

Výpočet přepislé smykové pevnosti v tahu  $T_s$ 

$$\tau_s = \frac{F_{\max}}{S} \quad (7.1)$$

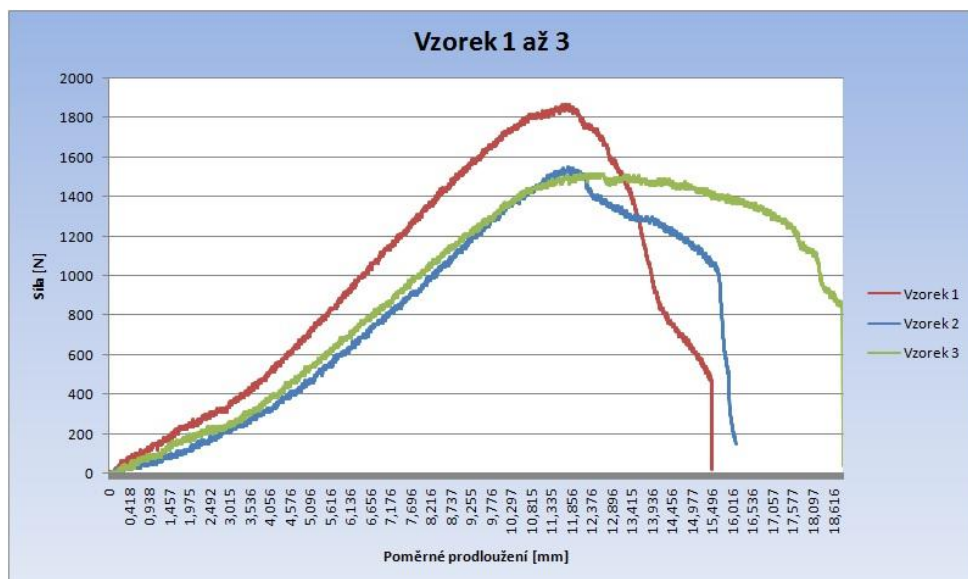
$F_{\max}$  – maximální síla odečtená z grafu

$S$  – plocha lepeného spoje

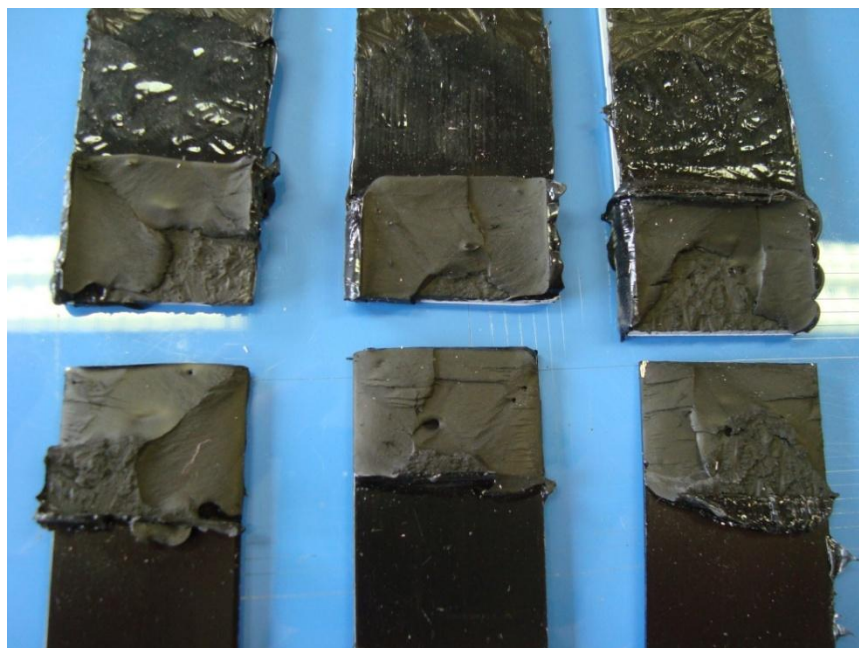
$$S = a \cdot b \quad (7.2)$$

$a$  – délka lepeného spoje

$b$  – šířka lepeného spoje



Obr. 7.5 Výsledný graf ze zkoušky přepislé smykové pevnosti v tahu



Obr. 7.6 Vzorky č. 1, 2 a 3 po zkoušce

**Výpočet přepislé smykové pevnosti v tahu**

Vzorek č. 1

$$S_1 = a_1 \cdot b_1 = 25 \cdot 12 = 300 \text{ mm}^2$$

$$\tau_{s1} = \frac{F_{1\max}}{S_1} = \frac{1862}{300} = 6,21 \text{ MPa}$$

Vzorek č. 2

$$S_2 = a_2 \cdot b_2 = 25 \cdot 12 = 300 \text{ mm}^2$$

$$\tau_{s2} = \frac{F_{2\max}}{S_2} = \frac{1552}{300} = 5,17 \text{ MPa}$$

Vzorek č. 3

$$S_3 = a_3 \cdot b_3 = 25 \cdot 12 = 300 \text{ mm}^2$$

$$\tau_{s3} = \frac{F_{3\max}}{S_3} = \frac{1514}{325} = 5,05 \text{ MPa}$$

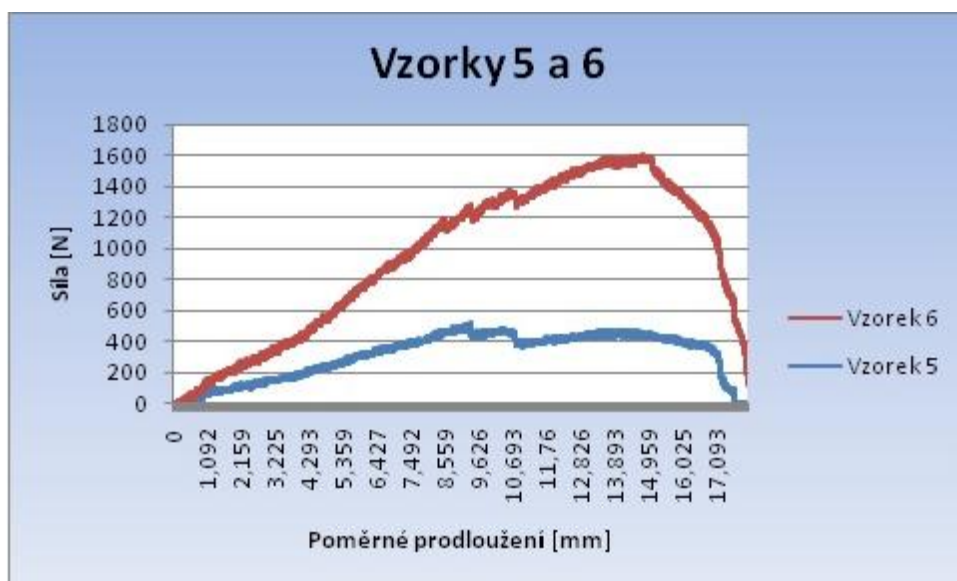
Výpočet průměrné hodnoty přepislé smykové pevnosti v tahu  $T_{SP1}$ 

$$\tau_{SP1} = \frac{\tau_{s1} + \tau_{s2} + \tau_{s3}}{3} = \frac{6,21 + 5,17 + 5,05}{3} = 5,48 \text{ MPa}$$

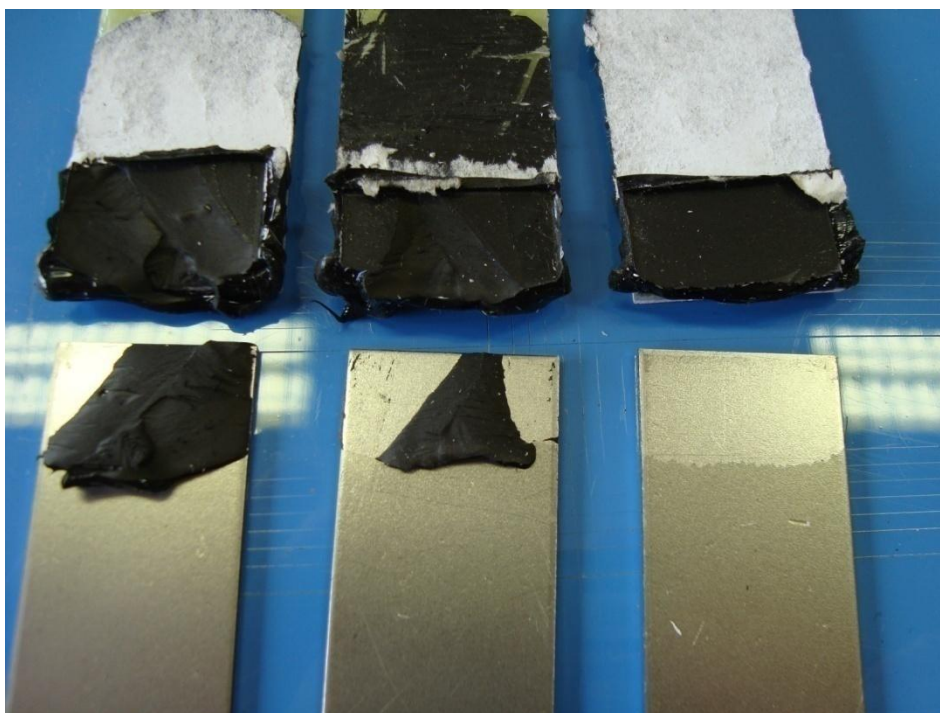
Tab. 7.2 Vyhodnocení vzorku č. 1, 2 a 3

Číslo vzorku	Destrukce	Síla $F_{\max}$ [N]	Smyková pevnost [MPa]
1	PPU 1	1 862	6,21
2	PPU 1	1 552	5,17
3	PPU 1	1 514	5,05
<b>Průměrná smyková pevnost</b>			<b>5,48</b>





Obr. 7.7 Výsledný graf ze zkoušky převísle smykové pevnosti v tahu



Obr. 7.8 Vzorky č. 4, 5 a 6 po zkoušce

### Výpočet převísle smykové pevnosti v tahu

Vzorek č. 5

$$S_5 = a_5 \cdot b_5 = 25 \cdot 12 = 300 \text{ mm}^2$$

$$\tau_{s5} = \frac{F_{5\max}}{S_5} = \frac{517}{300} = 1,72 \text{ MPa}$$

Vzorek č. 6

$$S_6 = a_6 \cdot b_6 = 25 \cdot 12 = 300 \text{ mm}^2$$

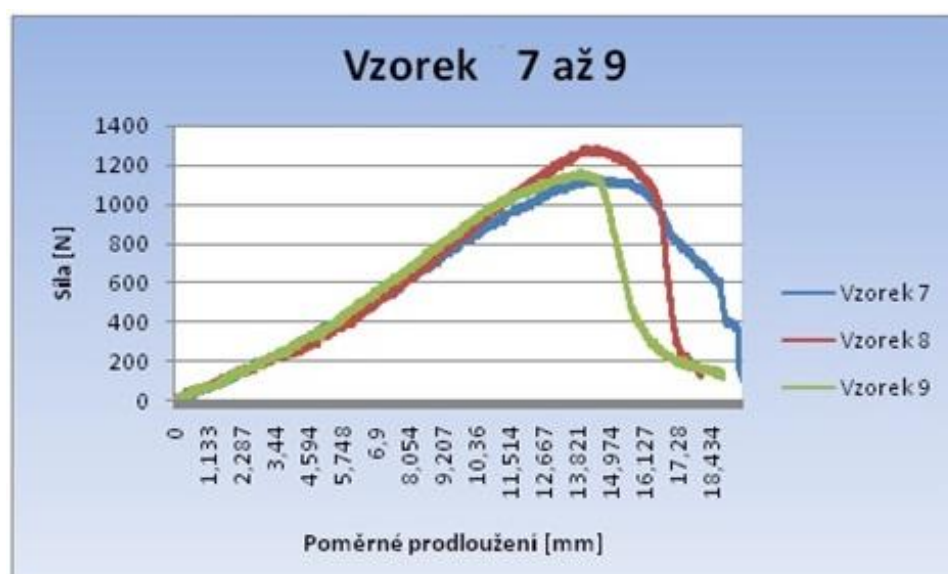
$$\tau_{s6} = \frac{F_{6\max}}{S_6} = \frac{1147}{300} = 3,83 \text{ MPa}$$

Výpočet průměrné hodnoty převíslé smykové pevnosti v tahu  $T_{SP2}$

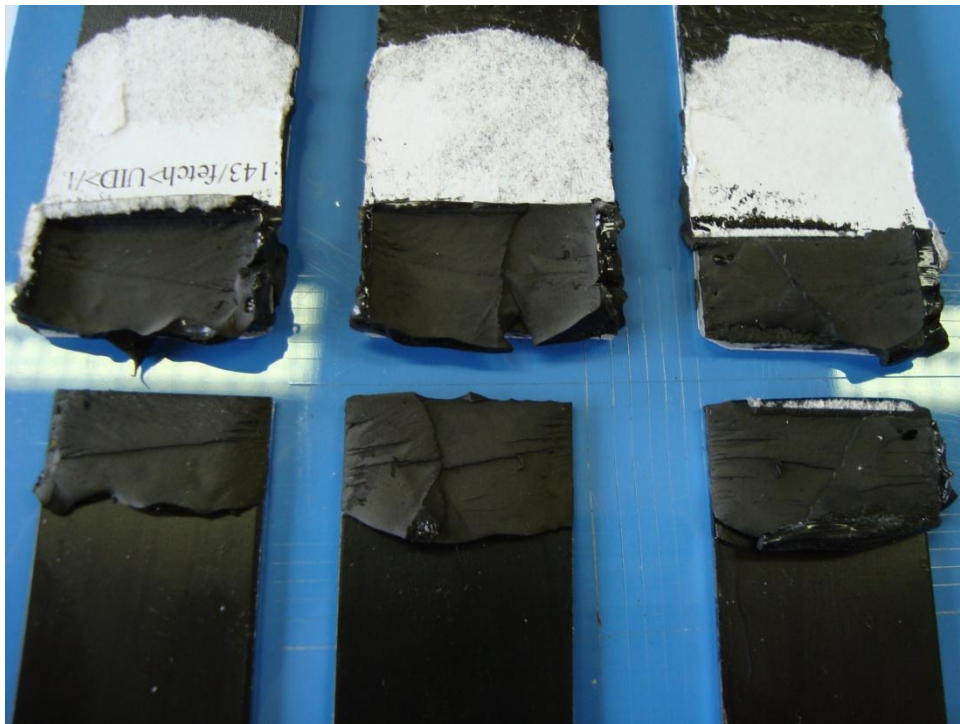
$$\tau_{SP2} = \frac{\tau_{s4} + \tau_{s5} + \tau_{s6}}{3} = \frac{0 + 1,72 + 3,83}{3} = 1,85 \text{ MPa}$$

Tab. 7.3 Vyhodnocení vzorku č. 4, 5 a 6

Číslo vzorku	Destrukce	Síla $F_{\max}$ [N]	Smyková pevnost [MPa]
4	SP	0	0
5	PPU 1	517	1,72
6	PPU 1	1 147	3,83
<b>Průměrná smyková pevnost</b>			<b>1,85</b>



Obr. 7.9 Výsledný graf ze zkoušky převíslé smykové pevnosti v tahu



Obr. 7.10 Vzorky č. 7, 8 a 9 po zkoušce

**Výpočet převislé smykové pevnosti v tahu**

Vzorek č. 7

$$S_7 = a_7 \cdot b_7 = 25 \cdot 12 = 300 \text{ mm}^2$$

$$\tau_{s7} = \frac{F_{7\max}}{S_7} = \frac{1138}{300} = 3,79 \text{ MPa}$$

Vzorek č. 8

$$S_8 = a_8 \cdot b_8 = 25 \cdot 12 = 300 \text{ mm}^2$$

$$\tau_{s8} = \frac{F_{8\max}}{S_8} = \frac{1288}{300} = 4,29 \text{ MPa}$$

Vzorek č. 9

$$S_9 = a_9 \cdot b_9 = 25 \cdot 12 = 300 \text{ mm}^2$$

$$\tau_{s9} = \frac{F_{9\max}}{S_9} = \frac{1166}{300} = 3,89 \text{ MPa}$$

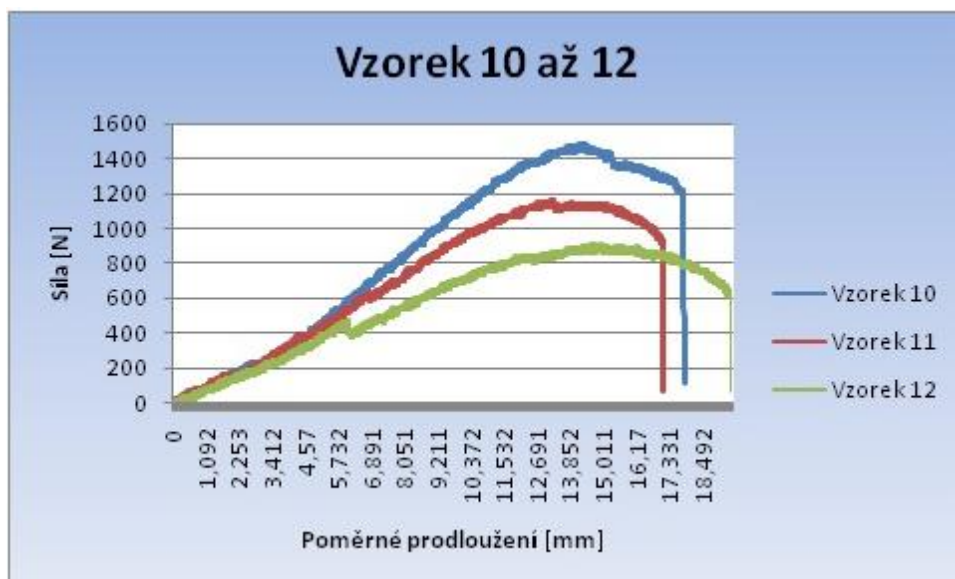
Výpočet průměrné hodnoty převislé smykové pevnosti v tahu  $\tau_{SP3}$ 

$$\tau_{SP3} = \frac{\tau_{s7} + \tau_{s8} + \tau_{s9}}{3} = \frac{3,79 + 4,29 + 3,89}{3} = 3,99 \text{ MPa}$$

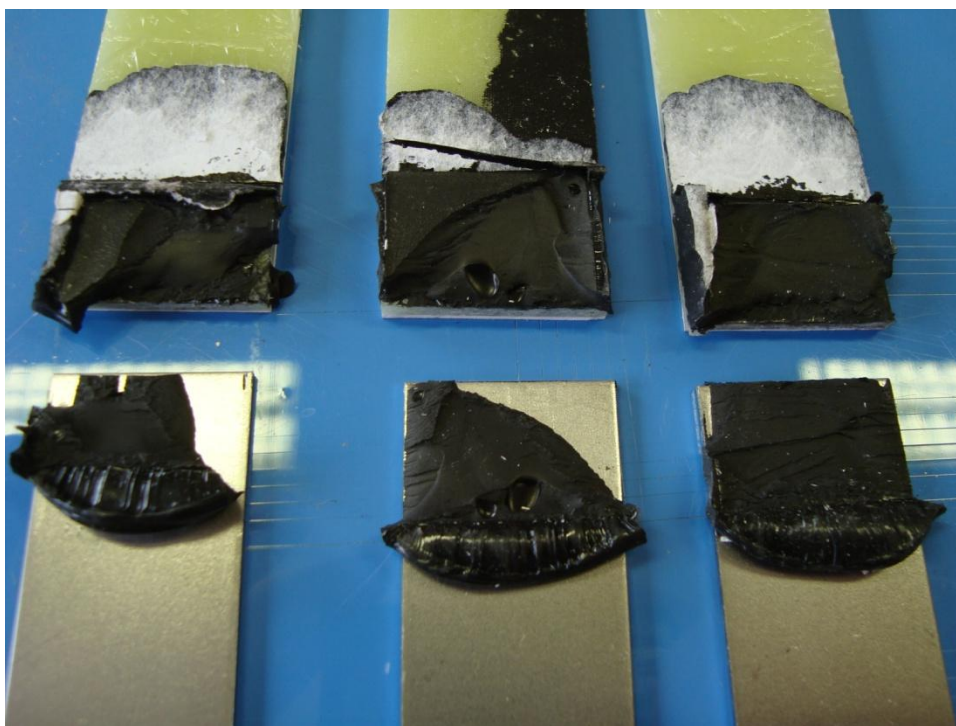


Tab. 7.4 Vyhodnocení vzorků č. 7, 8 a 9

Číslo vzorku	Destrukce	Síla $F_{\max}$ [N]	Smyková pevnost [MPa]
7	PPU 1	1 138	3,79
8	PPU 1	1 288	4,29
9	PPU 1	1 166	3,89
<b>Průměrná smyková pevnost</b>			<b>3,99</b>



Obr. 7.11 Výsledný graf ze zkoušky přepisové smykové pevnosti v tahu



Obr. 7.12 vzorky č. 10, 11 a 12 po zkoušce

**Výpočet převíslé smykové pevnosti v tahu**

Vzorek č. 10

$$S_{10} = a_{10} \cdot b_{10} = 25 \cdot 12 = 300 \text{ mm}^2$$

$$\tau_{S10} = \frac{F_{10\max}}{S_{10}} = \frac{1477}{300} = 4,92 \text{ MPa}$$

Vzorek č. 11

$$S_{11} = a_{11} \cdot b_{11} = 25 \cdot 12 = 300 \text{ mm}^2$$

$$\tau_{S11} = \frac{F_{11\max}}{S_{11}} = \frac{1157}{300} = 3,86 \text{ MPa}$$

Vzorek č. 12

$$S_{12} = a_{12} \cdot b_{12} = 25 \cdot 12 = 300 \text{ mm}^2$$

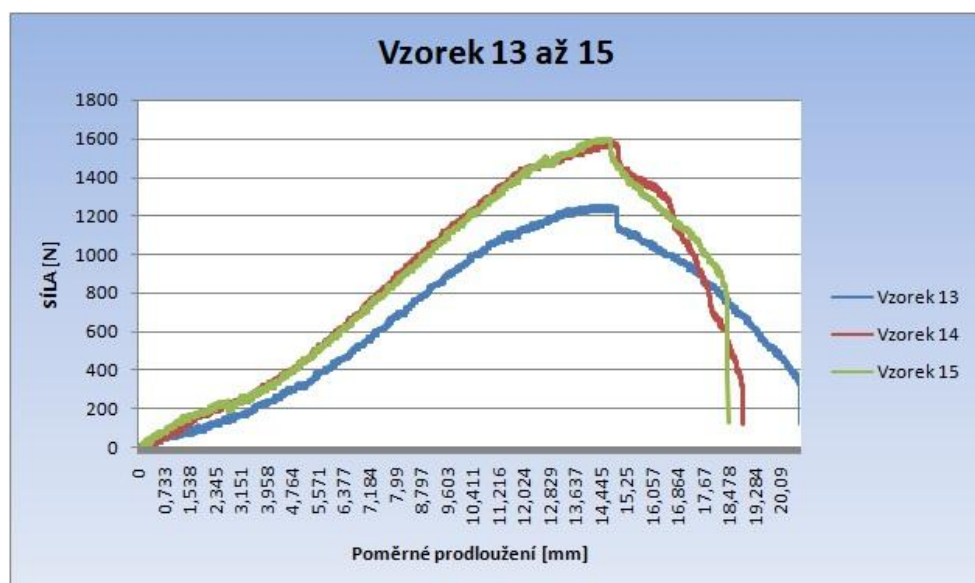
$$\tau_{S12} = \frac{F_{12\max}}{S_{12}} = \frac{903}{300} = 3,01 \text{ MPa}$$

Výpočet průměrné hodnoty převíslé smykové pevnosti v tahu  $T_{SP4}$ 

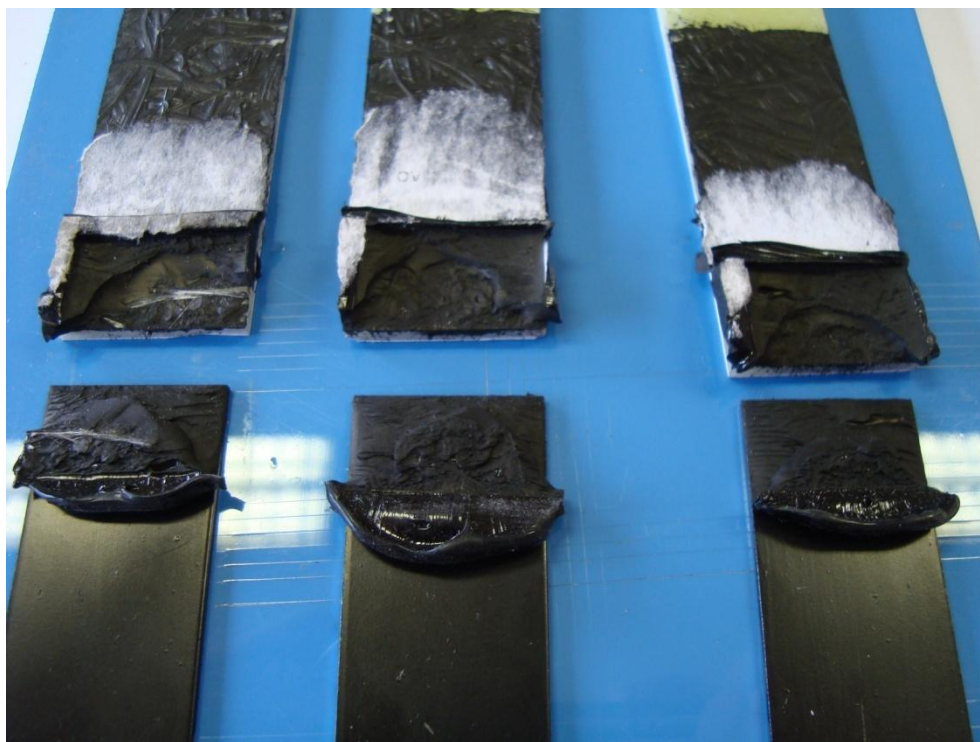
$$\tau_{SP4} = \frac{\tau_{S10} + \tau_{S11} + \tau_{S12}}{3} = \frac{4,92 + 3,86 + 3,01}{3} = 3,93 \text{ MPa}$$

Tab. 7.5 Vyhodnocení vzorků č. 10, 11 a 12

Číslo vzorku	Destrukce	Síla $F_{\max}$ [N]	Smyková pevnost [MPa]
10	PPU 1	1 477	4,92
11	PPU 2	1 157	3,86
12	PPU 2	903	3,01
<b>Průměrná smyková pevnost</b>			<b>3,93</b>



Obr. 7.13 Výsledný graf ze zkoušky převíslé smykové pevnosti v tahu



Obr. 7.14 Vzorky č. 13, 14 a 15 po zkoušce

### Výpočet převíslé smykové pevnosti v tahu

Vzorek č. 13

$$S_{13} = a_{13} \cdot b_{13} = 25 \cdot 12 = 300 \text{ mm}^2$$

$$\tau_{s13} = \frac{F_{13\max}}{S_{13}} = \frac{1251}{300} = 4,17 \text{ MPa}$$

Vzorek č. 14

$$S_{14} = a_{14} \cdot b_{14} = 25 \cdot 12 = 300 \text{ mm}^2$$

$$\tau_{S14} = \frac{F_{14\max}}{S_{14}} = \frac{1580}{300} = 5,27 \text{ MPa}$$

Vzorek č. 15

$$S_{15} = a_{15} \cdot b_{15} = 25 \cdot 12 = 300 \text{ mm}^2$$

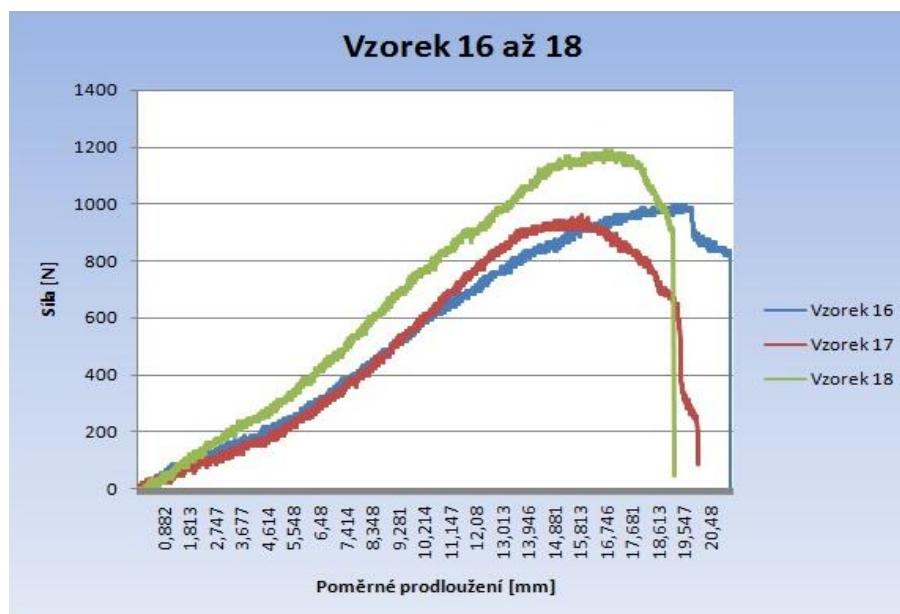
$$\tau_{S15} = \frac{F_{15\max}}{S_{15}} = \frac{1599}{300} = 5,33 \text{ MPa}$$

Výpočet průměrné hodnoty převíslé smykové pevnosti v tahu  $T_{SP5}$

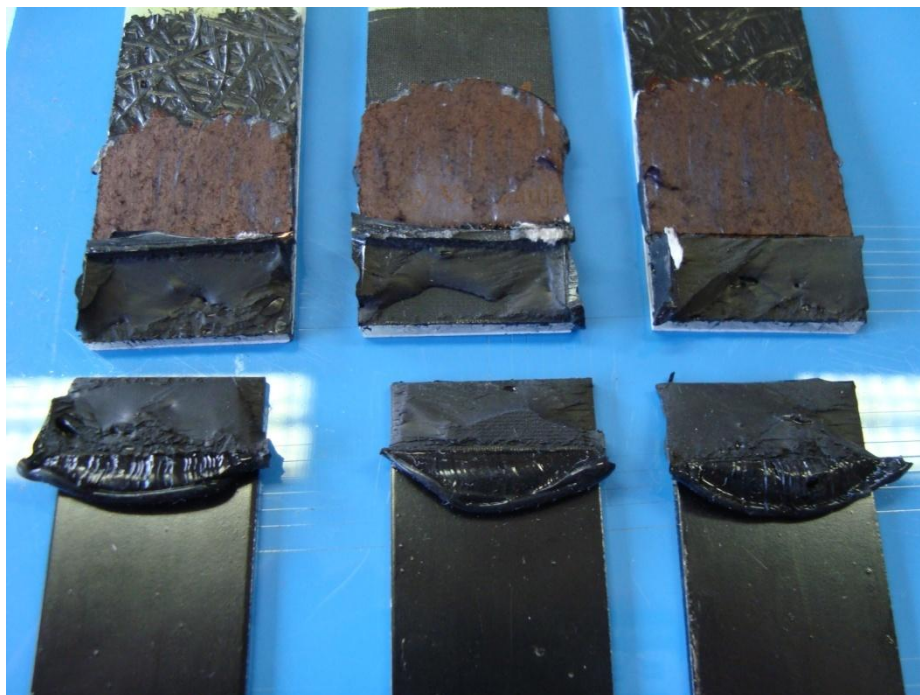
$$\tau_{SP5} = \frac{\tau_{S13} + \tau_{S14} + \tau_{S15}}{3} = \frac{4,17 + 5,27 + 5,33}{3} = 4,92 \text{ MPa}$$

Tab. 7.6 Vyhodnocení vzorků č. 13, 14 a 15

Číslo vzorku	Destrukce	Síla $F_{\max}$ [N]	Smyková pevnost [MPa]
13	PPU 1	1 251	4,17
14	PPU 1	1 580	5,27
15	PPU 1	1 599	5,33
<b>Průměrná smyková pevnost</b>			<b>4,92</b>



Obr. 7.15 Výsledný graf ze zkoušky převíslé smykové pevnosti v tahu



Obr. 7.16 Vzorky č. 16, 17 a 18 po zkoušce

**Výpočet převísle smykové pevnosti v tahu**

Vzorek č. 16

$$S_{16} = a_{16} \cdot b_{16} = 25 \cdot 12 = 300 \text{ mm}^2$$

$$\tau_{s16} = \frac{F_{16\max}}{S_{16}} = \frac{996,8}{300} = 3,32 \text{ MPa}$$

Vzorek č. 17

$$S_{17} = a_{17} \cdot b_{17} = 25 \cdot 12 = 300 \text{ mm}^2$$

$$\tau_{s17} = \frac{F_{17\max}}{S_{17}} = \frac{959}{300} = 3,20 \text{ MPa}$$

Vzorek č. 18

$$S_{18} = a_{18} \cdot b_{18} = 25 \cdot 12 = 300 \text{ mm}^2$$

$$\tau_{s18} = \frac{F_{18\max}}{S_{18}} = \frac{1185}{300} = 3,95 \text{ MPa}$$



Výpočet průměrné hodnoty přepislé smykové pevnosti v tahu  $T_{SP6}$

$$\tau_{SP6} = \frac{\tau_{S13} + \tau_{S14} + \tau_{S15}}{3} = \frac{3,32 + 3,20 + 3,95}{3} = 3,49 \text{ MPa}$$

Tab. 7.7 Vyhodnocení vzorků č. 16, 17 a 18

Číslo vzorku	Destrukce	Síla $F_{\max}$ [N]	Smyková pevnost [MPa]
16	PPU 1	996,8	3,32
17	PPU 1	959	3,20
18	PPU 1	1 185	3,95
<b>Průměrná smyková pevnost</b>			<b>3,49</b>

Z výsledků zkoušek je patrné, že nejlepších výsledků bylo dosaženo u vzorků číslo 1, 2 a 3. viz tab. 7.2 a obr. 7.5 a 7.6 na které byl použit primer DINITROL 550. Ztráta přilnavosti na hranici času určeného pro nanášení se nepotvrdila, ba naopak vzorky nanášené 5 minut po naplnění balení viz tabulka 7.7 a obrázky 7.15 a 7.16 vykazaly menší pevnost než vzorky lepené po 20 minutách po naplnění balení (vzorky 1, 2 a 3).

Na vzorky číslo 4, 5, 6 a 10, 11, 12 byl použit čirý primer DINITROL 560. Na obr. 7.7, obr.7.8, obr.7.11 a 7.12 je patrná ztráta adheze tohoto primeru na konstrukční oceli a tím snižená pevnost lepeného spoje viz tab.7.3 a 7.5.

Vzorky číslo 7, 8, 9 a 13, 14, 15 na které byl použit primer DINITROL 530 dosáhly o něco horší výsledky než vzorky s primerem DINITROL 550. Jejich průměrná pevnost je však dostačující a jednotlivé vzorky mají od průměrné hodnoty pouze minimální odchylky viz obr. 7.9, obr. 7.10, obr. 7.14, obr. 7.15 a tab. 7.4, tab. 7.6.

Kromě vzorků s primerem DINITROL 560 dosáhly všechny vzorky po z hlediska charakteru destrukce hodnocení PPU1. Jedná se tedy o dokonalý lepený spoj s přetržením v lepidle s více jak z 95% adhesivním spojením potvrzujícím kvalitu navrženého systému DINITROL. Destrukce vzorku v lepidle je nejlepší možný výsledek u kterého limitní sílu při přetržení určuje smyková pevnost daného lepidla.

### 7.3 ZKOUŠKA LEPIDLA SIKAFLEX 265 BOOSTER 20W

Vlastní zkouška byla provedena v laboratořích firmy SIKA v Brně na stroji Zwick/Roell Z010 s programovým vybavením Test Expert 2.0. Podrobné informace o vlastnostech zkoušeného lepidla SIKAFLEX 265 BOOSTER 20W jsou uvedena v technickém listu v příloze č. 1.

Tab. 7.8 Použité přípravky výrobce SIKA

PŘÍPRAVEK	ČÍSLO ŠARŽE	DATUM EXPIRACE
<b>Sikaflex 265</b>	43640216	15. červen 2012
<b>Sika Booster 20W</b>	13006986	16. říjen 2012
<b>Sika Aktivator 205</b>	13051635	17. listopad 2012
<b>Sika Primer 206 G+P</b>	3000161800	18. říjen 2012
<b>Sika Primer 209D</b>	31566721	19. červen 2012

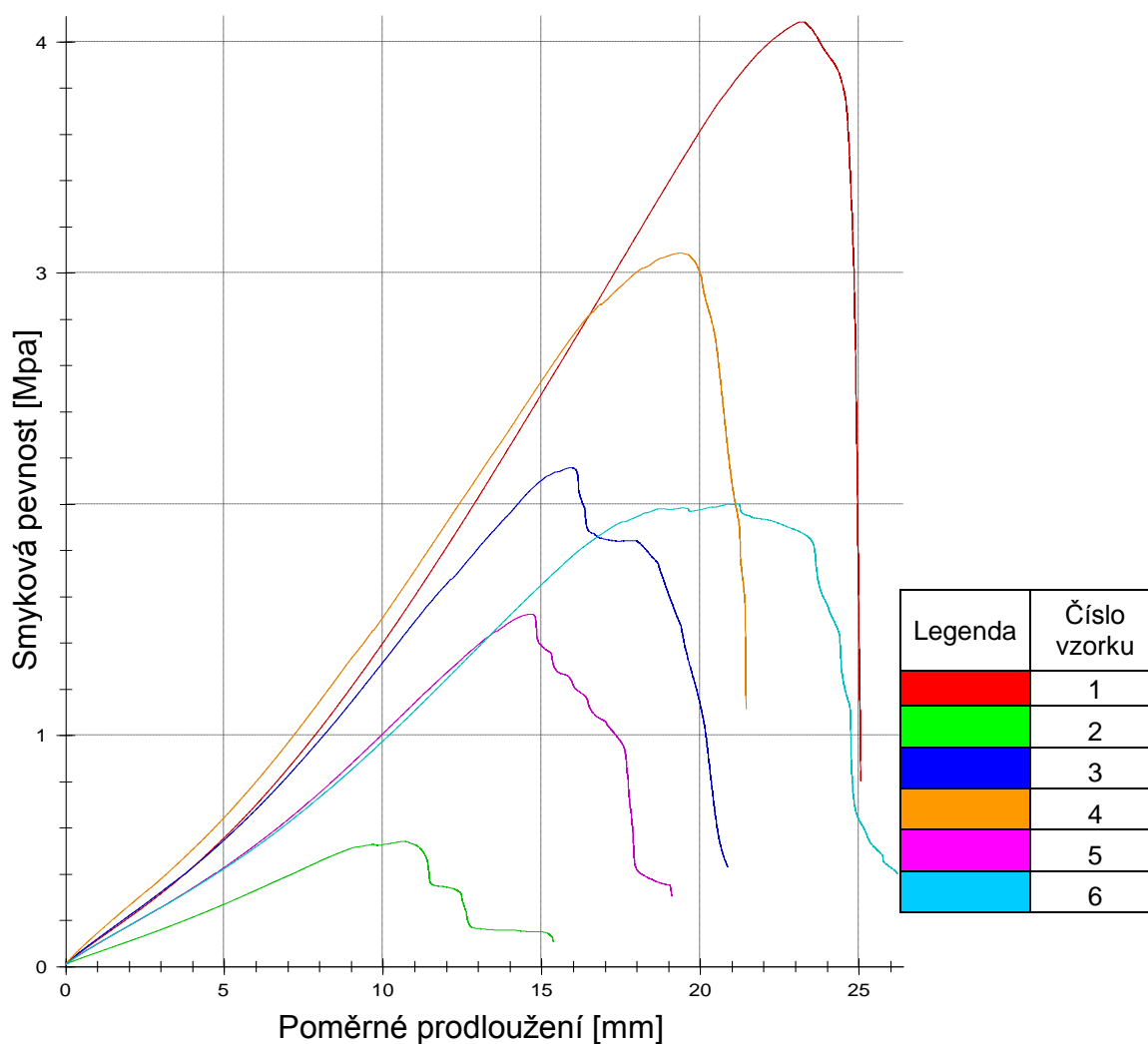
Všech 12 vzorků bylo opět vyrobeno z téhož materiálu, jako je kostra a opláštění střechy autobusu. Tedy ze skelného laminátu s vrstvou gelcoatu a konstrukční oceli S235 J2G2. Šarže a datum spotřeby jednotlivých přípravků jsou vyjmenovány v tab. 7.8. Zkratky použité v tabulkách předpříprav jednotlivých vzorků viz tab. 7.10 a 7.12 jsou přiřazeny k jednotlivým přípravkům v tab. 7.9.

Tab. 7.9 Zkratky použitých přípravků předpřípravy povrchu

přípravek	označení
<b>Aktivátor 205</b>	A205
<b>Primer 206 G+P</b>	P206
<b>Primer 209D</b>	P209
<b>Scotchbrite</b>	SC

Tab. 7.10 Předpříprava povrchu pro lepidla výrobce SIKA

Číslo vzorku	Předpříprava	Lepidlo	Urychlovač	Čas od naplnění k nanesení
<b>1</b>	SC+A205+P206	SIKAFLEX 265	BOOSTER 20W	5 minut
<b>2</b>	SC+A205+P206	SIKAFLEX 265	BOOSTER 20W	5 minut
<b>3</b>	SC+A205+P206	SIKAFLEX 265	BOOSTER 20W	5 minut
<b>4</b>	SC+A205+P206	SIKAFLEX 265	BOOSTER 20W	20 minut
<b>5</b>	SC+A205+P206	SIKAFLEX 265	BOOSTER 20W	20 minut
<b>6</b>	SC+A205+P206	SIKAFLEX 265	BOOSTER 20W	20 minut



Obr. 7.17 Vzorky č. 1 až 6, graf závislosti smykové pevnosti v tahu a poměrného prodloužení

Tab. 7.11 Vyhodnocení vzorků č. 1 až 6

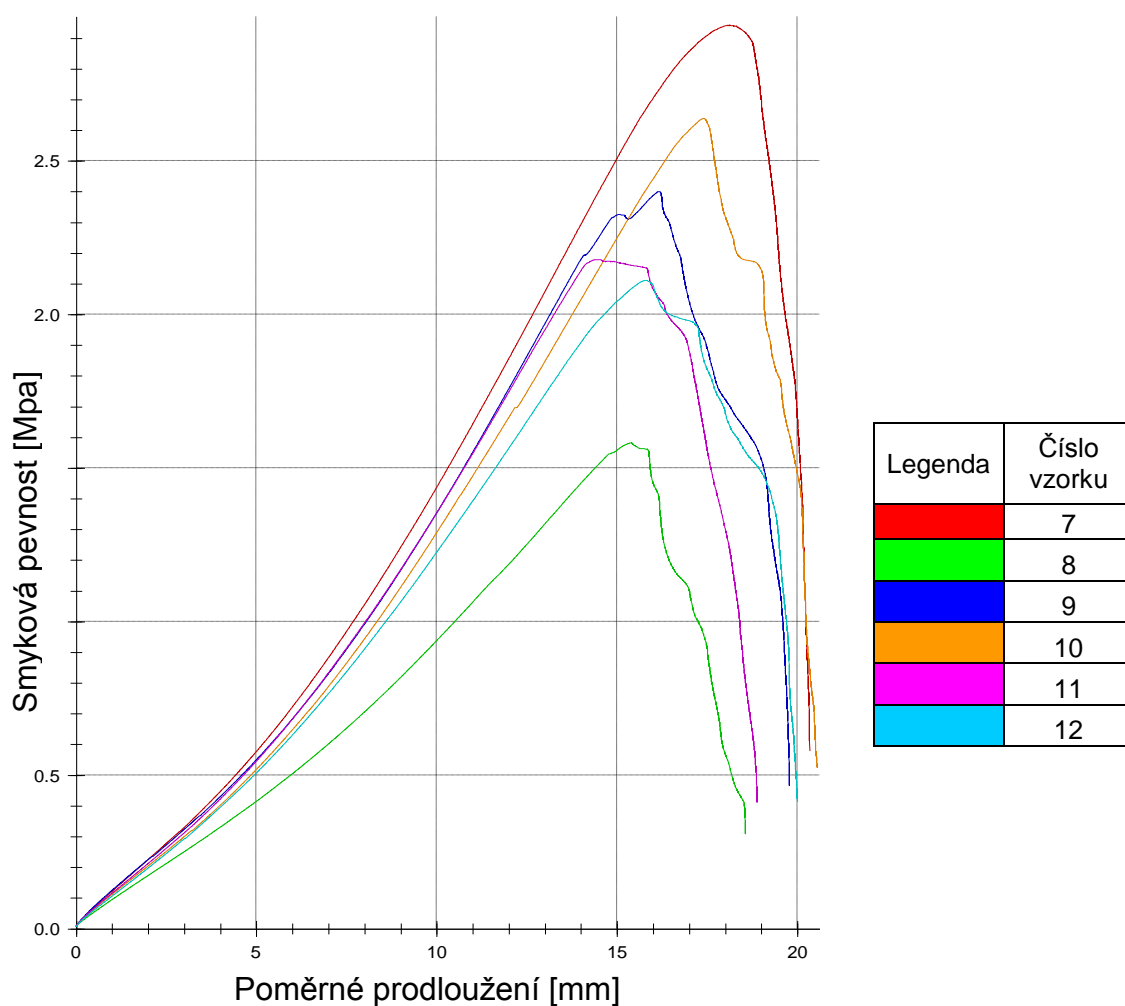
Číslo vzorku	Destrukce	Síla $F_{\max}$ [N]	Smyková pevnost [MPa]
1	PPU 1	1227	4,09
2	PPU 3	162	0,54
3	PPU 2	648	2,16
4	PPU 2	927	3,09
5	PPU 3	456	1,52
6	PPU 2	600	2,00
<b>Průměrná smyková pevnost</b>			<b>2,23</b>

U pěti vzorků došlo k částečné separaci lepidla od primeru, jedině u vzorku č. 1 došlo k přetržení v lepidle z více, jak 90% viz tab. 7.11 a obr. 7.17. Proto je tato technologie lepení hodnocena jako nevyhovující.



Tab. 7.12 Předpříprava povrchu pro lepidla výrobce SIKA

Číslo vzorku	Materiál	Předpříprava povrchu	Lepidlo + urychlovač	Čas mezi nánášením a naplněním
7	laminát	SC+A205+P209	SIKAFLEX 265 + BOOSTER 20W	5 minut
	S235 JRG2	SC+A205		
8	laminát	SC+A205+P209	SIKAFLEX 265 + BOOSTER 20W	5 minut
	S235 JRG2	SC+A205		
9	laminát	SC+A205+P209	SIKAFLEX 265 + BOOSTER 20W	5 minut
	S235 JRG2	SC+A205		
10	laminát	SC+A205+P209	SIKAFLEX 265 + BOOSTER 20W	20 minut
	S235 JRG2	SC+A205		
11	laminát	SC+A205+P209	SIKAFLEX 265 + BOOSTER 20W	20 minut
	S235 JRG2	SC+A205		
12	laminát	SC+A205+P209	SIKAFLEX 265 + BOOSTER 20W	20 minut
	S235 JRG2	SC+A205		



Obr. 7.18 Vzorky 7 až 12, graf závislosti smykové pevnosti v tahu a poměrného prodloužení

Tab. 7.13 Vyhodnocení vzorku č. 7 až 12

Číslo vzorku	Destrukce	Síla $F_{\max}$ [N]	Smyková pevnost [MPa]
7	SP	882	2,94
8	SP	474	1,58
9	SP	720	2,40
10	SP	792	2,64
11	SP	654	2,18
12	SP	633	2,11
<b>Průměrná smyková pevnost</b>			<b>2,31</b>

U všech šesti vzorků došlo z důvodu vynechání primeru na konstrukční oceli k separaci lepeného materiálu od lepidla viz tab. 7.13 a obr. 7.18. Proto jsou tyto vzorky hodnoceny jako nevyhovující.

## 8 POPIS A MOŽNOSTI NAVRHOVANÉHO ŘEŠENÍ

Z možných variant byla vybrána technologie lepení jednokomponentním polyuretanovým lepidlem s urychlovačem DINITROL 515 A/B z těchto důvodů:

- Ani u jednoho vzorku nalepeného lepidlem DINITROL 515 A/B při použití primeru DINITROL 550, případně DINITROL 530 nedošlo k separaci lepidla od primeru, případně primeru od podkladu,
- Lepidlo DINITROL 515 A/B je v současné době používáno a odzkoušeno na pracovišti lepení skel a opláštění karosérie.
- Dodavatel lepidla DINITROL 515 A/B firma AUTOCOLOR Liberec se zavázala zajistit bezplatný měsíční servis vydávacího zařízení.

### 8.1 NAVRŽENÍ ŘEŠENÍ NANÁŠENÍ

Pro zaručení dodržení maximální doby 20 minut mezi nanesením a slepením kostry střechy s laminátem je nutné, aby lepidlo nanášeli minimálně 2 pracovníci zároveň. Proto byla provedena zkouška nanesení lepidla pomocí vydávacího zařízení se dvěma výdejnými místy. Z důvodu vysokého odporu v rozvodech lepidla a následně neúměrně prodloužené doby nanášení jsme byli nuceni od tohoto řešení ustoupit.

Další možností je nanášení lepidla pomocí pojezdového robotického zařízení, které by zvýšilo počet vydávacích míst na maximum. Rychlost nanášení by byla dodržena s ohledem na usazení balení lepidla přímo na stroji. Po zvážení finanční náročnosti investice do robotického zařízení a náročnosti jeho programování vzhledem k značné rozmanitosti výroby bylo rozhodnuto ani toto řešení nedoporučit.

Rozhodli jsme se zachovat ruční aplikaci lepidla ze dvou, případně i více vzduchových pistolí. Vzhledem k vysokým finančním nákladům za servisní balení (viz obr. 8.1) byla navržena varianta vydávacího zařízení, které bude plnit již smíchané lepidlo s urychlovačem do balení vhodného pro ruční aplikaci.



Obr. 8.1 Servisní balení a vydávací pistole pro lepidlo DINITROL 515 A/B <sup>9</sup>

## 8.2 NÁVRATNOST INVESTICE DO VYDÁVACÍHO ZAŘÍZENÍ

Vzhledem k velké lepené ploše a s ní spojené spotřebě lepidla viz tab. 8.3 a zároveň vysoké ceně servisního balení oproti ceně lepidla plněného do sudů viz tab. 8.1 a tab. 8.4 byl předpoklad brzké návratnosti investice do vydávacího zařízení.

Pro porovnání nákladů servisního a sudového balení byl proveden přepočet na standardní balení ve fólii po 600 ml. Toto množství je také nastaveno v plnicím zařízení pro dávkování jednotlivých balení určených k nánášení.

Tab. 8.1 Porovnání ceny servisního a sudového balení lepidla

Položka	Balení	Jednotka balení	Cena balení [Kč]	Cena 600 ml [Kč]
<b>DINITROL 515 A/B 1ks=500 ml</b>	500	ml	393	<b>472</b>
<b>DINITROL 515 A 1ks=50 kg</b>	50	kg	12 600	
<b>DINITROL 515 B 1ks=1l</b>	1	l	450	
<b>DINITROL 515 A/B</b>				<b>185</b>

Pro verzi servisního balení bylo nutno počítat s počáteční investicí do třech vydávacích pistolí. Pro verzi vydávacího zařízení s investicí do vydávacího zařízení viz tab. 8.2 a 8.4.

Tab. 8.2 Nutné vybavení jednotlivých investic

Nutné vybavení	Cena [Kč/ks]
<b>Servisní pneumatická vydávací pistole</b>	55 200
<b>Vydávací zařízení TSI</b>	1 000 000

Spotřeba lepidla na lepení střechy pro jednotlivé typy a délky vozů je uvedena v tab. 8.3. Pro výpočet návratnosti investice byla použita průměrná spotřeba na vůz.

Tab. 8.3 Spotřeba lepidla na lepení střechy autobusů SOR

Typ autobusu	Spotřeba 600 ml balení	Poznámka
SOR C 9,5	18	střecha rovná
SOR CN 9,5	18	střecha lomená lepená ze tří dílů
SOR C 10,5	22	střecha rovná
SOR CN 10,5	22	střecha lomená lepená ze tří dílů
SOR C 12	24	střecha rovná
SOR CN 12	24	střecha lomená lepená ze tří dílů
SOR NB 12	28	střecha rovná s delšími bočnicemi
Aritmetický průměr	22	

Tab. 8.4 Výchozí hodnoty pro výpočet návratnosti

Položka	Verze servisní balení	Verze vydávací zařízení
Vydávací pistole 3 ks	165 600 Kč	x
Vydávací zařízení TSI	x	1 000 000 Kč
Cena balení 600 ml	472 Kč	185 Kč
Navýšení spotřeby z provozu vydávacího zařízení (10%)	x	204 Kč

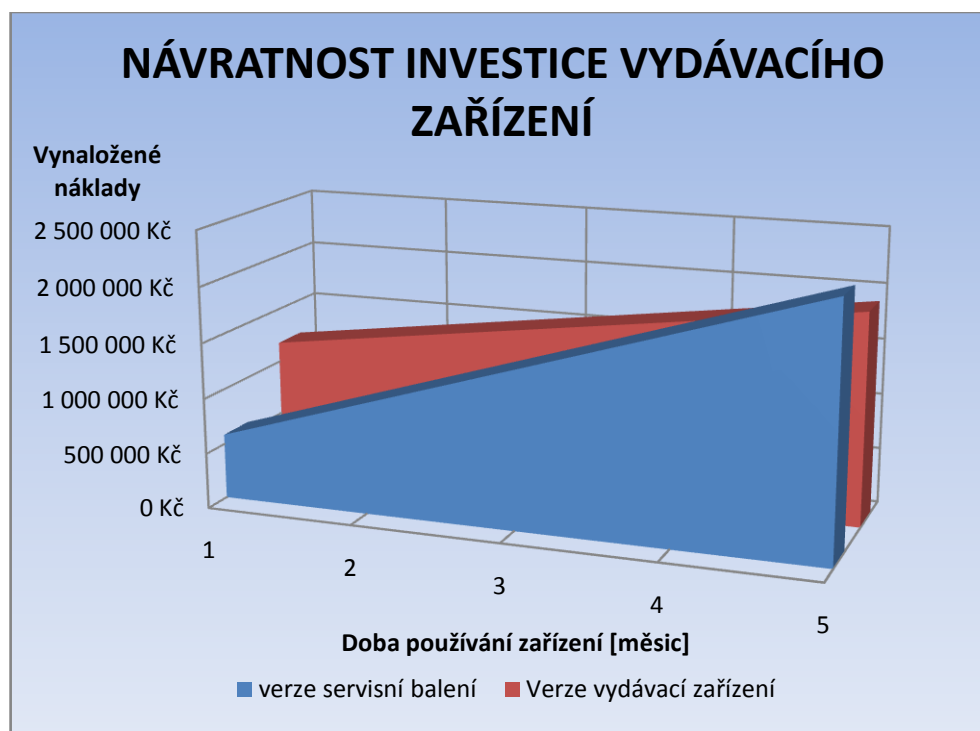
Tab. 8.5 Výpočet návratnosti

Měsíce	Verze servisní balení	Verze vydávací zařízení
0	165 600 Kč	1 000 000 Kč
1	585 998 Kč	1 181 410 Kč
2	1 006 395 Kč	1 362 819 Kč
3	1 426 793 Kč	1 544 229 Kč
4	1 847 191 Kč	1 725 639 Kč
5	2 267 589 Kč	1 907 048 Kč

Pro výpočet návratnosti bylo navýšeno množství a tím i cena sudového balení o 10 %. Důvodem navýšení byly ztráty, které vznikají z provozu vydávacího zařízení.

Ztráty vydávacího zařízení vznikají zejména při odstávce stroje mezi lepicími operacemi kdy je nutno „propláchnout“ směšovací mixer pouze komponentou A.

Další ztráty vznikají při výměně prázdného sudu za nový. Sud nelze vyčerpat zcela z důvodu nebezpečí nasátí fólie, ve které je lepidlo v sudu uloženo. Proto je dolní poloha sací desky dána čidlem. Po přejetí desky dolní polohou stroj nahlásí prázdný sud a automaticky se zastaví.



Obr. 8.2 Graf návratnosti do vydávacího zařízení

Předpoklad brzké návratnosti se potvrdil. Návratnost investice do vydávacího zařízení je pouhé 4 měsíce viz tab. 8.5 a obr. 8.2.

### 8.3 VLASTNOSTI NAVRHOVANÉHO LEPIDLA

Pro zachování vlastností jedno komponentního polyuretanu, hlavně prodloužení při přetržení 600 % bylo navrženo jedno komponentní lepidlo s urychlovačem DINITROL 515 A s urychlovačem DINITROL 515B. Podrobný popis vlastností tohoto lepidla je v technickém listu v příloze č. 2.

Na základě zkoušek viz kapitola 7 byl doporučen následující systém předpřípravy povrchu:

Kostra střechy:

1. Odmaštění a očištění ploch určených k lepení přípravkem DINITROL 520 CLEANER AKTIVÁTOR.
2. Primerování odmaštěných ploch přípravkem DINITROL 550 MULTIPRIMER.

Laminát:

1. Odmaštění a očištění ploch určených k lepení přípravkem DINITROL 520 CLEANER AKTIVÁTOR.

## 2. Primerování odmaštěných ploch přípravkem DINITROL 550 MULTIPRIMER.

### 8.4 POPIS VYDÁVACÍHO ZAŘÍZENÍ

Plnicí zařízení výrobce TSI viz obr. 8.3 bylo navrženo dodavatelem lepidla. Podmínkou pro fungování systému plnění a ručního nanášení bylo dodržení maximální otevřené doby lepidla s urychlovačem.

Na nalepení střechy vozu s největší lepenou plochou bylo nutno naplnit a nanést 25 balení do maximálně 20 minut. Po nanesení je nutno počítat i s časem manipulace. Kostru po nanesení lepidla je nutno přemístit jeřábem do přípravku, který zaručuje správný tvar laminátu střechy.



Obr. 8.3 Vydávací zařízení jednokomponentního lepidla s urychlovačem TSI



Plnicí zařízení je konstruováno na 50kg balení komponenty A a 1l balení komponenty B viz obr. 8.4. Dodavatel lepidla je schopen dodávat i 200kg balení komponenty A. Testovali jsme toto větší balení z důvodu snížení četnosti výměn sudů, která je spojena s přerušením vydávání a odvodu systému. Bohužel z důvodu ztížené manipulace jsme byli nuceni od tohoto balení upustit. Standardní vydávací zařízení je vybaveno vydávací pistolí, která je napojena na zpravidla 3, 5, 9 nebo 12m dlouhé vydávací hadice. Průchod těmito hadicemi vzhledem ke značné viskozitě lepidla podstatně zpomaluje vydávací proces. Proto bylo nutno v případě vydávacího zařízení zkrátit tyto hadice na minimum.



Obr. 8.4 Tlaková nádoba dávkovče s kartuší urychlovače DINITROL 515B

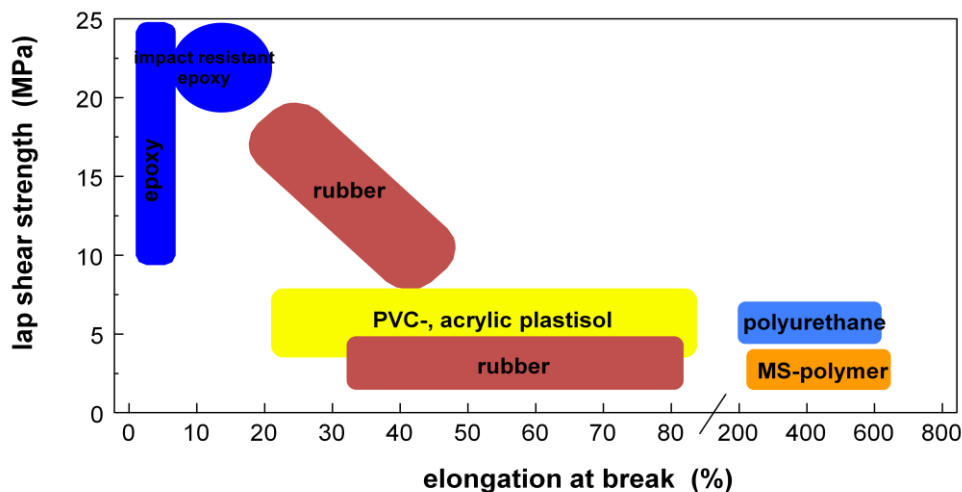
Vydávací pistole byla napojena na cca 1,5m dlouhé hadice od dodávací pumpy jak komponenty A tak komponenty B a pevně připevněna k rámu zařízení. Z pistole byl vyveden standardní plastový mixer na který byla našroubována plnicí hlavice. Při zkušebním provozu zařízení byla zjištěna destrukce plastového mixeru. Z důvodu vysokých tlaků a vysoké vydávací rychlosti došlo k postupnému rozlámání vnitřní části mixeru a následné ztrátě funkčnosti. Z tohoto důvodu byl standardní jednorázový mixer nahrazen kovovým mixerem s povlakem teflonu. Na těleso mixeru nad plnicí hlavici se nasune uzavřená fólie v délce postačující na výdej lepidla pro nalepení celé střechy.

Výdej lepidla je z důvodu obsluhy plnění oběma rukama zajištěn nožní spouští. Pro zajištění konstantního vydávaného množství na jedno balení je stroj vybaven seřiditelným dávkovacím zařízením. Obsluha tedy nožní spouští spustí vydávání, které se automaticky zastaví po naplnění dané dávky lepidla do uzavřené fólie. Poté se balení jednostranně uzavře svěrnou páskou pomocí kleští, odstříhne se a je připraveno k nanesení na kostru střechy vozu.

Zařízení umožňuje regulaci množství urychlovače v rozmezí od 2 % do 5 % (komponenty B) přimíchávaného do komponenty A a tím regulaci rychlosti zrání lepidla viz obr. 6.1. Mísení komponenty B lze i zcela vynechat což se s výhodou uplatňuje v době odstávky zařízení mezi lepením jednotlivých střech.

### 8.5 KOMPENZACE ROZDÍLNÉ TEPELNÉ ROZTAŽNOSTI

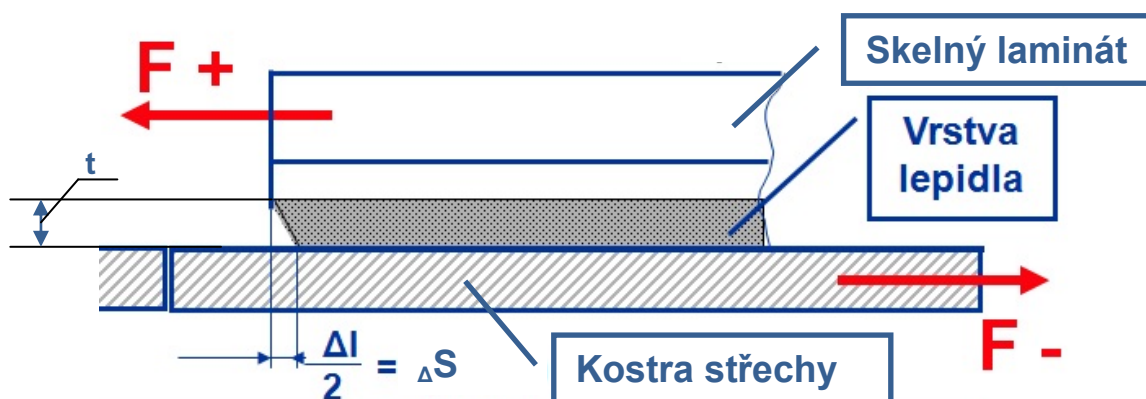
Pro vymezení rozdílné tepelné roztažnosti, příp. omezení zatížení vnějšího opláštění při deformaci karoserie je důležité použití lepidla s vysokým poměrným prodloužením viz obr. 8.5.



Obr. 8.5 Pevnost a poměrné prodloužení vybraných materiálů <sup>12</sup>

### 8.6 VÝPOČET POTŘEBNÉ TLOUŠTKY LEPENÉHO SPOJE

Z rozdílné tepelné roztažnosti lepených materiálů je nutno určit minimální tloušťku lepeného spoje viz obr. 8.6. Z důvodu výrobní nepřesnosti svařence kostry střechy dochází ke značným odchylkám tloušťky lepidla. Pro dodržení minimální požadované tloušťky se proto používají distanční podložky.



Obr. 8.6 Silové působení na lepený spoj při změně okolní teploty

Rozdíl teplotní roztažnosti  $\Delta l$

$$\Delta l = l_0 \cdot \Delta \alpha \cdot \Delta T \quad (8.1)$$

$l_0$  .....délka laminátu (kostry) při teplotě 20°C

Maximální délka laminátu vnějšího obložení střechy je u vozů délky 12m a to  $l_0 = 10\,000\text{mm}$ .

$\Delta T$ ..... rozdíl teplot

Provozní teploty:.....-40 až +75

Teplota v době lepení.....20°C

Rozdíly teplot:

1. OHŘEV .....  $\Delta T = 75 - 20 = 55^\circ\text{C}$

2. OCHLAZENÍ .....  $\Delta T = -40 - 20 = -60^\circ\text{C}$

Maximální rozmezí teplot je počítáno pro vozy dodávané do Ruské federace kde v zimním období teploty klesnou až k  $-40^\circ\text{C}$ . Hodnota  $\Delta T$  tedy dosahuje maximální hodnoty při ochlazení  $\Delta T = 60^\circ\text{K}$ .

$\Delta \alpha$ .....rozdíl koeficientů teplotní roztažnosti

$$\Delta \alpha = \alpha_{\text{laminát}} - \alpha_{\text{ocel}}$$

$\alpha_{\text{laminát}}$ .....koeficient teplotní roztažnosti skelného laminátu

$$\alpha_{\text{laminát}} = 20 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$$

$\alpha_{\text{ocel}}$ ..... koeficient teplotní roztažnosti ocel

$$\alpha_{\text{ocel}} = 12 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$$

$$\Delta \alpha = \alpha_{\text{laminát}} - \alpha_{\text{ocel}} = 20 \cdot 10^{-6} - 12 \cdot 10^{-6}$$

$$\Delta \alpha = 8 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$$

$$\Delta l = l_0 \cdot \Delta \alpha \cdot \Delta T = 10\,000 \cdot 8 \cdot 10^{-6} \cdot 60$$

$$\Delta l = 4,8\text{mm}$$

$\Delta S$ .....Maximální přesah vnějšího obložení střechy přes okraj kostry střechy.

$$\Delta S = \Delta l / 2 = 4,8 / 2$$

$$\Delta S = 2,4\text{mm}$$

$t$ .....Tloušťka lepeného spoje.

$$t_{\min} = \Delta S$$

$$t_{\min} = 2,4\text{mm}$$

Pro zaručení vymezení rozdílu lineární roztažnosti laminátu vnějšího obložení a kostry střechy je nutno dodržet minimální tloušťku lepeného spoje  $t_{\min}$ . Ta je rovna maximálnímu přesahu laminátu vnějšího obložení od kostry střechy vozu  $\Delta S$ . Tloušťku lepeného spoje volíme nejbližší vyšší a to  $t = 3\text{mm}$ .

## 9 PROJEKT ODLEHČENÉ SENDVIČOVÉ KONSTRUKCE STŘECHY

Díky požadavku zákazníků na vývoj vozidel s alternativními pohony jsme vyvinuli a začali vyrábět vozy poháněné motorem spalujícím zemní plyn viz obr. 9.1, vozy poháněné hybridním pohonem kombinujícím motor naftový s motorem elektrickým viz obr. 9.2 a autobus poháněný pouze elektromotorem – elektrobuses viz obr. 9.3. Právě u posledně jmenovaného elektrobuse má pohotovostní hmotnost vozidla zásadní vliv na požadovaný dojezd vozidla. Proto byl pro tyto vozy schválen projekt odlehčené sendvičové konstrukce střechy.



Obr. 9.1 Částečně nízkopodlažní autobus s pohonem na zemní plyn SOR BNG12<sup>5</sup>



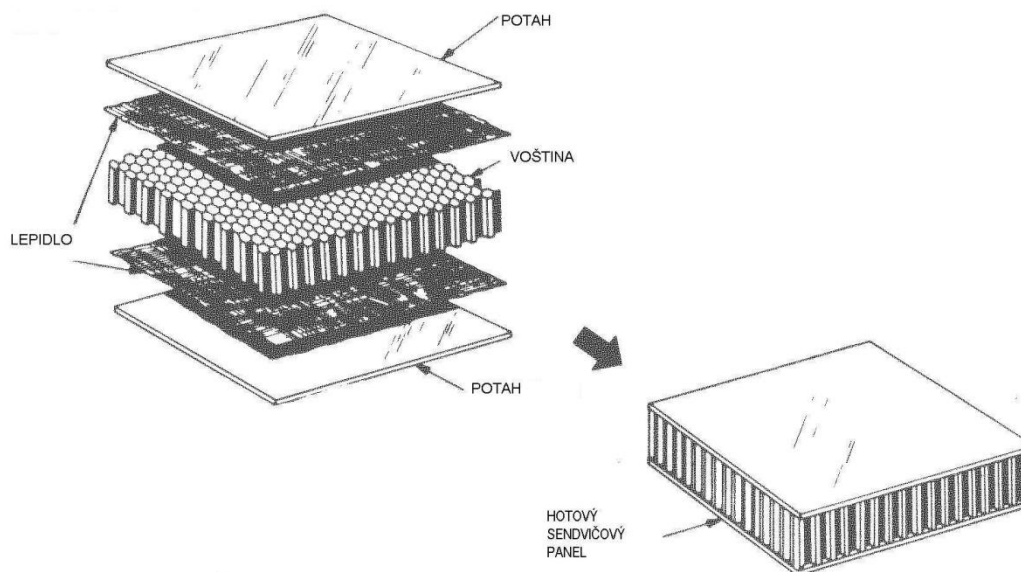
Obr. 9.2 Celonízkopodlažní autobus s hybridním pohonem SOR NBH18<sup>5</sup>



Obr. 9.3 Částečně nízkopodlažní elektrobus SOR EBN10<sup>5</sup>

## 9.1 POPIS SENDVIČOVÉ KONSTRUKCE

Základním principem této technologie je slepení vybraného opláštění a jádra viz obr. 9.4. Tyto jednotlivé materiály mají zcela jiné vlastnosti před a po slepení do sestavy sendviče. Sendvičové konstrukce vykazují vynikající izolační vlastnosti, tuhost a pevnost, nízkou hmotnost.



Obr. 9.4 Složení voštinového sendvičového panelu<sup>14</sup>

Materiály používané pro opláštění:

- ✓ Skelný laminát
- ✓ Slitina hliníku
- ✓ Korozi-vzdorná ocel

Materiály používané pro jádro:

- ✓ Pěna PUR
- ✓ Pěna PVC
- ✓ Voština
- ✓ Vlnovec ...

Druhy používaných sendvičových lepidel:

- ✓ Tavná
- ✓ Polyuretanová

## 9.2 ZKOUŠKY LEPIDEL PRO SENDVIČOVOU KONSTRUKCI

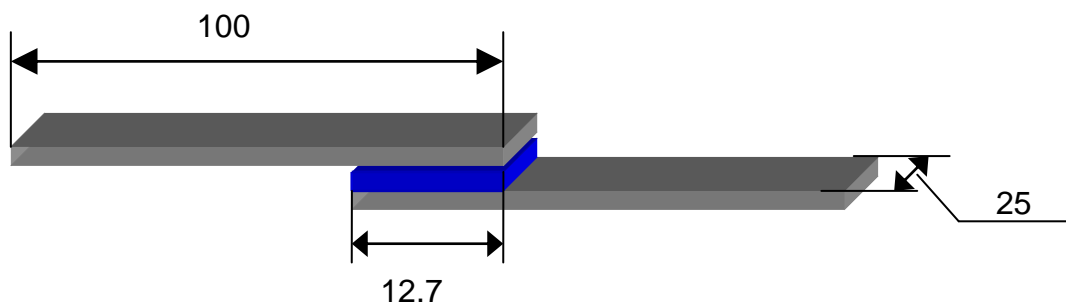
Pro spojení sendvičového panelu střechy se skeletem vozu bylo navrženo metylmetakrylátové lepidlo výrobce PLEXUS. Pro zkoušky bylo vybráno lepidlo Plexus<sup>TM</sup>MA422 viz technický list v příloze č. 3.

### Mechanismus vytvrzení

Při vytvrzování metylmetakrylátových lepidel dochází k polymeraci monomeru použitého jako reaktivní rozpouštědlo. Polymer po reakci zůstává termoplastický a je rozpustný v organických rozpouštědlech polymethylmetakrylátu. Tato lepidla jsou zpravidla dvou komponentní. Jedná se o kombinaci jemného perlového polymeru a monomerního metylmetakrylátu<sup>1</sup>. Složky se směšují pomocí statického mixeru buďto v poměru 10:1 nebo 1:1.

### 9.2.1 Zkoušky pevnosti a přilnavosti lepidla Plexus<sup>TM</sup>MA422

Zkoušky byly provedeny v Evropském technickém centru ve Velké Británii. Pro zkoušení přilnavosti a pevnosti metylmetakrylátových lepidel byla opět zvolena zkouška přepisné smykové pevnosti v tahu. Požadovaná konstantní tloušťka lepidla byla dána dráty pr.1mm připevněnými k jednomu ze vzorků. Rozměry vzorků byly určeny dle obr. 9.5.



Obr. 9.5 Rozměry vzorku pro zkoušku přepisné smykové pevnosti v tahu <sup>15</sup>



Předností metylmetakrylátových lepidel je dobrá adheze na široké spektrum podkladů a s tím spojená nízká náročnost na předpřípravu povrchů lepených materiálů. Vzorky ABS a laminátů byly proto před lepením pouze očištěny isopropanolem. Vzorky konstrukční oceli, slitiny hliníku a korozivzdorné oceli byly očištěny acetonem C6000 a natřeny primerem PC 120.

Požadované kombinace zkoušených materiálů:

- ✓ konstrukční ocel / slitina hliníku,
- ✓ ABS / slitina hliníku,
- ✓ laminát s oboustranným gelcoatem / slitina hliníku,
- ✓ konstrukční ocel / konstrukční ocel,
- ✓ laminát s jednostranným gelcoatem / konstrukční ocel,
- ✓ laminát s jednostranným gelcoatem / korozivzdorná ocel.

Tab. 9.1 Výsledky zkoušky přepislé smykové pevnosti v tahu <sup>15</sup>

Lepený materiál	Smyková pevnost	Druh destrukce vzorku
Konstrukční ocel / slitina Al	16.1MPa	Kohezní porušení
ABS / slitina Al	9.0MPa	Porušení lepeného materiálu
Laminát oboustranný gel-coat/ slitina Al	10.6MPa	Porušení lepeného materiálu
Konstrukční ocel / konstrukční ocel	9.1MPa	Adhezivní porušení
Laminát jednostranný gel-coat/ konstrukční ocel	7.0MPa	Adhezivní porušení
Laminát jednostranný gel-coat / korozivzdorná ocel	18.2MPa	Porušení lepeného materiálu

### 9.2.2 Zkoušky pevnosti vybraných konstrukčních uzlů autobusu

Pro ověření konstrukčního řešení jednotlivých částí vozu byly provedeny pádové zkoušky spoje karoserie se sendvičovou konstrukcí viz obr. 9.6. Na obr. 9.7 je vzorek sendvičové konstrukce s voštinovým jádrem po zkoušce vtlačování cizího tělesa.

Převržení modulu části karoserie vozu, kde byla využita sendvičová konstrukce nejen ve střeše vozu, ale i v boku, je znázorněn na obr. 9.8 před zkouškou a na obr. 9.9 po zkoušce. Při této zkoušce nesmí dojít k takové deformaci střešní konstrukce, aby byli ohroženi cestující.

Zkouška prokázala ztrátu pevnosti sendvičové konstrukce v místě napojení dvou panelů voštinového jádra. Tento spoj byl již v dodané desce od výrobce.



Obr. 9.6 Vzorek spoje karoserie se sendvičovou konstrukcí po pádové zkoušce



Obr. 9.7 Vzorek sendvičové konstrukce po zkoušce vtlačování cizího tělesa.



Obr. 9.8 Modul vozu před zkouškou převržením



Obr. 9.9 Modul vozu po zkoušce převržení

## 10 DISKUZE

Jako řešení požadavku snížení času výroby na pracovišti lepení střechy autobusu z 8 na 4 hodiny byla navržena polyuretanová lepidla s urychlovačem dvou výrobců DINITROL a SIKA. Z porovnávacích zkoušek převíslé smykové pevnosti v tahu lepidel DINITROL 515 A/B a SIKAFLEX 265 BOOSTER 20W je patrné, že nejlepších výsledků dosáhlo lepidlo DINITROL 515 A/B v kombinaci s primerem DINITROL 550 viz kapitola 7.

Průměrná převíslá smyková pevnost v tahu u vzorků lepených lepidlem DINITROL 515 A/B v kombinaci s primerem DINITROL 550 a nanesených 20 minut po naplnění balení je  $T_{SP1} = 5,48$  MPa. Nižší průměrná převíslá smyková pevnost v tahu u vzorků nanesených 5 minut po naplnění balení  $T_{SP6} = 3,49$  MPa je zřejmě způsobena nedostatečným odpuštěním lepidla ze statického mixeru a tím způsobeným smícháním již nazrálého lepidla s nově smíchaným. Primer DINITROL 530 dosáhl v obou případech slepení 5 i 20 minut po nanesení dobrých hodnot smykové pevnosti v tahu a to  $T_{SP3} = 3,99$  MPa a  $T_{SP5} = 4,92$  MPa. Nejhůře dopadl primer DINITROL 560, který je evidentně nevhodný na konstrukční ocel, u které došlo u všech vzorků k adhezivnímu porušení lepeného spoje.

Průměrná převíslá smyková pevnost v tahu u vzorků lepených lepidlem SIKAFLEX 265 BOOSTER 20W v kombinaci s primerem SIKA PRIMER 206 G+P je pouze  $T_{SP7} = 2,23$  MPa. U druhé skupiny vzorků došlo z důvodu vynechání primeru na konstrukční oceli k adhezivnímu porušení všech šesti vzorků.

Při navržení řešení nanášení lepidla DINITROL 515 A/B bylo nutno vybrat ze dvou variant a to ze servisního balení po 500 ml nebo balení v sudech po 50, případně 200 kg. Z ekonomického porovnání vyplynula jednoznačná výhodnost balení v sudech a to i přes nutnost miliónové investice do vydávacího zařízení. Návratnost této investice je pouhé 4 měsíce viz kapitola 8.2.

## ZÁVĚR

Tato diplomová práce se zabývá problematikou snížení taktu výroby na pracovišti lepení střechy autobusu na požadované 4 hodiny. Jako řešení je navržena technologie jednokomponentního polyuretanového lepidla s urychlovačem od dvou výrobců DINITROL a SIKKA. Porovnání lepidel DINITROL 515 A/B a SIKAFLEX 265 BOOSTER 20W je provedeno pomocí zkoušky převíslé smykové pevnosti v tahu.

Vzorky lepené lepidlem DINITROL 515 A/B byly rozděleny do šesti skupin po třech vzorcích. Byly odzkoušeny tři druhy primerů a dvě doby mezi naplněním balení a nanášením lepidla.

Vzorky lepené lepidlem SIKAFLEX 265 BOOSTER 20W byly rozděleny do čtyřech skupin po třech vzorcích. Byl odzkoušen systém s primerem a bez primeru a dvě doby mezi naplněním balení a nanášením lepidla stejně jako u lepidla DINITROL 515 A/B.

Zkoušky dopadly mnohem lépe u lepidla DINITROL 515 A/B a to v kombinaci s primerem DINITROL 550. Proto bylo toto lepidlo s danou přípravou doporučeno pro zavedení do výroby.

Balení jednokomponentního lepidla s urychlovačem se dělí na dva typy. Jedna z možností je využít servisního balení, které v případě lepidla DINITROL 515 A/B obsahuje 500 ml, nebo využít balení v sudech po 50 případně 200 kg ke kterému je nutno počítat s investicí do vydávacího zařízení.

V popisu navrženého řešení je popsána zejména problematika nanášení lepidla. Vzhledem ke krátké otevřené době lepidla určené k jeho nanášení je nutné, aby lepidlo nanášeli zároveň dva až tři pracovníci. Z tohoto důvodu nebylo možné použít standardní vydávací zařízení, ale jednoúčelový stroj na plnění balení pro ruční vydávací pistole. Pro výběr výhodnější varianty je předloženo ekonomické porovnání, které jednoznačně doporučilo investici do jednoúčelového vydávacího zařízení.

Výpočet minimální potřebné tloušťky lepidla je proveden z hlediska rozdílné tepelné roztažnosti vnějšího opláštění a kostry střechy.

Dalším projektem, který se zabývá konstrukcí střechy autobusu je projekt odlehčené sendvičové konstrukce. Požadavek na snížení střešní konstrukce při zachování požadované pevnosti a tuhosti konstrukce je spojen s vývojem elektrobuse. Pohotovostní hmotnost vozidla má zásadní vliv na spotřebu pohonných hmot autobusu a hlavně na výdrž akumulátorů elektrobuse. V rámci projektu byla provedena řada zkoušek např. zkouška pevnosti a přilnavosti konstrukčního lepidla pro napojení sendvičové konstrukce na svařenec skeletu, zkouška vtlačování cizího předmětu nebo zkouška převržení modulu vozu.

Závěrečná část je věnována diskuzi nad výsledky zkoušek a výpočtů a z nich vyvozených závěrů.



**SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ**

1. PETERKA, Jindřich. *Lepení konstrukčních materiálů ve strojírenství*. 1. vyd. Praha, SNTL, 1980. 788 s.
2. SEZNAM CZ . *de Havilland DH-100 HORNET*. [online]. [cit. 2012-03-25]. Dostupné na World Wide Web: < <http://www.fliteskin.com/page4.html> >.
3. KOLEKTIV AUTORŮ, Loctite. *Worldwide Design Handbook*. 2. vyd. Mainz: Erasmusdruck GmbH, 1998. 452 s. ISBN 0-96 5590-0-5.
4. SVV PRAHA - TC KLEBEN. *Evropean Adhesive Bonder*, učební podklady kurzu pro přípravu na certifikaci dle DIN 6701-2 lepení v oblasti kolejových vozidel.
5. SOR LIBCHAVY. *Představení společnosti*. [online]. [cit. 2012-03-10]. Dostupné na World Wide Web: <<http://www.sor.cz/site/index.php>>.
6. OSTEN, Miloš. *Práce s lepidly a tmely*. 3. vyd. Praha: SNTL, 1986. 285 s.
7. BĚHÁLEK, Luboš. *Mezimolekulární síly*. Studijní materiály Technické univerzity v Liberci [online]. [cit. 2012-02-15]. Dostupné na World Wide Web: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud\\_materialy/vip/p3/sily.pdf](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/vip/p3/sily.pdf)
8. SIKA CZ. *Secondary characteristics of elastic bonding*. Prezentační materiály koncernu SIKA CZ.
9. AUTOCOLOR LIBEREC. *Systém konstrukčního lepení lepidly DINITROL*. Prezentační materiály firmy AUTOCOLOR Liberec.
10. SCANREX. *Návod k obsluze a údržbě vydávacího zařízení SCANREX 2K HVP AXAD*. Prezentační materiály firmy SCANREX.
11. TSI. *Návod k obsluze a údržbě vydávacího zařízení TSI 615*. Prezentační materiály firmy TSI.
12. Krygel, Jiří. *Bonding of Metal Surfaces in Automotive*. Prezentační materiály firmy HENKEL.
13. SIKA CZ. *Corporate quality procedure CQP046-1 tensile lap-shear strength*. Interní norma firmy SIKA zkoušek lepených spojů.
14. 5M. *Technický list voštinové sendvičové konstrukce*. Prezentační materiály firmy 5M.
15. EUROPEAN TECHNICAL CENTRE. *Technical service report*. Výsledky zkoušky zadané výrobcem lepidla Plexus™MA422.



**SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ**

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
$\mu$	C.m	Dipólový moment
$r$	mm	Vzdálenost
$e$	C	Elektrický náboj
$E_k$	$\text{kJ.mol}^{-1}$	Energie Kesomovy síly
$h$		Planckova konstanta
$E_L$	$\text{kJ.mol}^{-1}$	Energie Londonovy síly
$\alpha$		Polarizovatelnost molekuly
$V_0$	Hz	Nulový bod frekvence
$T_s$	MPa	Mez pevnosti ve stříhu
$F$	N	Síla
$S$	$\text{mm}^2$	Plocha
$a$	mm	Délka
$b$	mm	Šířka
$\Delta l$	mm	Rozdíl teplotní roztažnosti
$l_0$	mm	Rozměr při teplotě 20°C
$\Delta T$	°C	Rozdíl teplot
$\Delta \alpha$	$\text{K}^{-1}$	Rozdíl koeficientů teplotní roztažnosti
$\alpha_{\text{laminát}}$	$\text{K}^{-1}$	Koeficient teplotní roztažnosti laminátu
$\alpha_{\text{ocel}}$	$\text{K}^{-1}$	Koeficient teplotní roztažnosti oceli
$\Delta S$	mm	Maximální přesah
$t$	mm	Tloušťka lepidla
PPU1		Přetržení v polyuretanu = více jak z 95% adhezivní spoj
PPU2		Převažující přetržení v PU = > 75% adhezivní spoj
PPU3		Převažující kohezivní spoj = < 75% adhezivní spoj
DS		Destrukce substrátu
DSL		Adhezivní oddělení povlaku od substrátu
SP		Separace primeru, případně lepidla od podkladu
A205		Sika aktivátor 205
P206		Sika primer 206 G+P
P209		Sika primer 209
SC		Brusná drátěnka SCOTCHBRITE

**SEZNAM PŘÍLOH**

- Příloha 1    Technický list lepidla SIKAFLEX 265 BOOSTER 20W  
Příloha 2    Technický list lepidla DINITROL 515 A/B  
Příloha 3    Technický list lepidla Plexus™MA422

## Příloha 1

Produktový list  
verze 1 (07 / 2010)

### Sikaflex®-265 Booster 20W

rychle vytvrzující lepicí systém s dobrou odolností proti stárnutí a povětrnostním podmínkám a dobrou těsnicí schopností

#### technická data

vlastnosti	s Boosterem 20W	bez Boosteru
chemická báze	urychlovaný 1-k polyuretan	1-k polyuretan
barva (CQP <sup>1)</sup> 001-1)	černá	
mechanismus vytvrzení	vzdušnou vlhkostí <sup>2)</sup>	vzdušnou vlhkostí
hustota (CQP 006-4) (před vytvrzením)	ca 1,2 kg/l	
poměr míchání objemový	2% ( 1,8 – 2,2% )	
stabilita (CQP 061-1)	dobrá	
teplota při aplikaci	10 - 35°C	
čas tvorby povrchové kůže <sup>3)</sup> (CQP 019-1)		cca 45 min
otevřený čas <sup>3),4)</sup> (CQP 526-1)	cca 20 min	
rychlost vytvrzení (CQP 049-1)		cca 3,5mm za 24 hod
počáteční pevnost (CQP 063-2)	viz tabulka 1	
objemová změna (CQP 014-1)	<1%	
tvrdost Shore A (CQP 023-1 / ISO 868)	cca 50	
pevnost v tahu (CQP 036-1 / ISO 37)	cca 6 N/mm <sup>2</sup>	
prodloužení při přetržení (CQP 036-1 / ISO 37)	cca 450%	
pevnost v odlupu (CQP 045-1 / ISO 34)	cca 14 N/mm	
pevnost ve smyku (CQP 046-1 / ISO 4587)	cca 4,5 N/mm <sup>2</sup>	
elektrický odpor (CQP 079-2 / ASTM D 257-99)	cca 10 <sup>8</sup> Ω cm	
teplotní odolnost (CQP 513-1)	-40°C až +90°C	
skladovatelnost (pod 25°C) (CQP 016-1)	6 měsíců pro hoboky a sudy 9 měsíců pro kartuše a sáčky	
mixer	Statomix MS 13/18 G	

<sup>1)</sup> CQP =Corporate Quality Procedures

<sup>2)</sup> 23°C/ 50% relativní vzdušná vlhkost.

#### Popis

Sikaflex®-265 je jednokomponentní, pružné, vzdušnou vlhkostí vytvrzující lepidlo na bázi polyuretanu pro přímé zasklívání s gapfilling schopností. S přidávaným komponentem Booster Paste 20 W se stává do značné míry nezávislé na povětrnostních podmínkách.

Sikaflex®-265 je vyráběn dle standardu ISO 9001/ 14001 a v souladu s programem « Responsible Care ».

#### Přednosti produktu

- jednoduché použití
- rychle vytvrzující, 1-komponentní lepidlo, jehož vytvrzení lze urychlit, pokud se použije Sika®Booster Paste 20 W
- vhodný pro lepení a tmelení
- pružný / dobré vyplňovací parametry
- nízký zápach
- výborná zpracovatelnost a aplikační vlastnosti
- široký rozsah adheze
- bez rozpouštědel a PVC
- vhodný jak pro ruční aplikaci, tak pro automatizovanou

#### Oblast použití

Sikaflex®-265 je určen zejména pro přímé zasklívání jak v OEM, tak v oprávkářském průmyslu. Vzhledem k dobrým aplikačním vlastnostem a zvýšené odolnosti proti povětrnostním podmínkám je možno Sikaflex®-265 použít pro odkryté spoje. Pro rychlé vytvrzení se používá Sika®Booster Paste 20 W: zahlazení musí být v tomto případě provedeno do 8 minut. Tento produkt je vhodný pouze pro profesionální uživatele. Před aplikací je nutno uskutečnit testy adheze na používané substráty.



### Vytvrzování

Sikaflex®-265 samostatně vytvrzuje působením vzdušné vlhkosti. Se snižující se teplotou probíhá vytvrzovací reakce pomaleji. V kombinaci s přídatným urychlovačem Booster probíhá vytvrzení nezávisle na vzdušné vlhkosti

Čas ( hod )	Pevnost ( MPa )
1	ca 0,25
2	ca 1,00
4	ca 2,00

tab 1:počáteční pevnost (CQP 063-2) u Sikaflex®-265 Booster při 23°C

### Chemická odolnost

Sikaflex®-265 je ve vytvrzeném stavu odolný vodě, mořské vodě, vodouemísitelným čisticím prostředkům, krátkodobě odolný proti působení pohonných hmot, minerálních olejů, stejně tak proti rostlinným a živočišným tukům a olejům, není odolný proti působení rozpouštědel, ředidel, organických kyselin, alkoholu a některým dalším agresivním materiálům. Tyto údaje jsou vzhledem k širokému spektru ovlivňujících materiálů a podmínek pouze orientační. Závazné posouzení je podmíněno objektovou zkouškou.

### Pokyny pro zpracování

#### Příprava podkladu

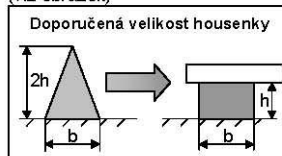
Lepené plochy dílů musí být čisté, suché, beze stop tuků, olejů, vosků nebo jiných separačních látek. Jako směrná informace pro přípravu různých povrchů slouží naše tabulka příprav povrchů. Pro údaje o postupu ve specifických případech si vyžádejte konzultaci našeho technického oddělení.

#### Zpracování

Booster Paste 20 W není k dispozici v adaptéru Booster. Pokud je potřeba vytvrzovací proces urychlit, lepidlo musí být zpracováno vhodnou pumpou, zařízením.

Pro správnou aplikaci Sikaflex®-265 použijte vzduchovou či elektrickou pistoli nebo výtlačnou pumpu. Neaplikovat výrobek při pokojové teplotě pod +10 °C nebo nad + 35 °C . Optimální teplota podkladu je mezi + 15 °C a + 25 °C

K zajištění rovnoměrné tloušťky spoje doporučujeme trojúhelníkovou formu nanášené housenky. (viz obrázek)



Pro výběr a nastavení vhodné pumpy kontaktujte prosím technické oddělení Sika Industry.

### Zahlazování

Vynikajících zahlazovacích výsledků lze dosáhnout, pokud použijete Booster 20 W. Vyplňte spoj zcela bez dutin až mírně přeplněn, pak odstraňte přebytečné lepidlo vhodným nástrojem nebo špachtlí. Pro hladké povrchové úpravy použijte zahlazovací přípravek Sika Tooling Agent N.

### Odstanění zbytků lepidla

Nevytvrzené lepidlo, ušpiněné plochy a nářadí před jeho vytvrzením možno očistit pomocí přípravku Sika® Remover 208. Vytvrzený materiál možno odstranit pouze mechanicky. Ruce je možno očistit pomocí utěrky Sika® Handclean nebo mycí pasty a oplachem vodou. Nepoužívejte rozpouštědla!

### Další informace

Kopie následujících publikací jsou na vyžádání k dispozici

- bezpečnostní list produktu
- Sika tabulka Primerů
- všeobecné směrnice pro Sikaflex

### Balení

#### Sikaflex®-265

kartuše	300 ml
monoporce	600 ml
hobok	23 l
sud	195 l

### Sika® Booster Paste 20 W

sáček	600 ml
hobok	23 l

### Měřené hodnoty

Všechna technická data v tomto technickém listu jsou stanovena na základě laboratorních testů. Aktuálně naměřené hodnoty se mohou odchylovat vzhledem k odlišným podmínkám měření mimo naší kontrolu.

### Důležité

Další údaje o chemickém charakteru materiálu, toxikologii, ekologii, skladování, dopravě, likvidaci jsou obsaženy v bezpečnostním listu materiálu.

### Upozornění

naše technicko uživatelské písemné či ústní informace a poradenství je sestaveno na základě našeho nejlepšího vědění, současného stavu znalostí z oblasti vývoje chemických produktů a získaných dlouholetých praktických zkušeností ze spolupráce s výrobci a opravami v dané oblasti. Naše doporučení jsou však nezávazná, netvoří žádný právní závazek a nezabývají kupujícího možnosti realizovat vlastní zkoušky našich produktů ve vztahu ke konstrukčním, technologickým a zpracovatelským podmínkám realizace a to zejména s ohledem na práva třetího. V ostatních záležitostech platí všeobecná ustanovení obchodního zákoníku. V případě technických informací se obraťte na naše oddělení Industry.



Sika Schweiz AG  
Tüfenwies 16  
8048 Zürich  
Switzerland  
Tel: +41 58 436 40 40  
Fax: +41 58 436 45 30

Sika CZ s.r.o.  
Bystrcká 1132 / 36  
CZ - 624 00 Brno  
Česká republika  
tel: +420 546 422 464  
fax: +420 546 422 400  
e-mail: [sika@ciz.sika.com](mailto:sika@ciz.sika.com)

Sika Slovensko spol. s r.o.  
Rybničná 38  
SK - 831 07 Bratislava  
Slovensko  
tel: +421 2 4920 0406  
fax: +421 2 4920 0444  
e-mail: [sika@sk.sika.com](mailto:sika@sk.sika.com)



---

# TECHNICKÝ LIST

---

## DINITROL 515 A/B

Stav 09.05

**Polyurethanová dvousložková lepicí – těsnící hmota**

### Charakteristika:

**DINITROL 515 A/B** je systém lepení, který se skládá z lepidla DINITROL 515 A a urychlující složky DINITROL 515 B. DINITROL 515 A je polyurethanová lepicí hmota, která vytvrzuje i bez přidání urychlující složky, vzdušnou vlhkostí do gumoelastické hmoty s dobrými mechanickými vlastnostmi. Aby bylo dosaženo rychlejšího vytvrzení, nezávislé na okolní teplotě a vlhkosti, přidává se urychlující složka DINITROL 515 B. Při vytvrzení obou složek dochází ideálnímu rovnoměrnému zrání přes celý lepený spoj resp. v celém objemu směsi složek. To umožňuje úspory fixačních prací a urychlení výrobních procesů.

### Oblast použití :

**DINITROL 515 A/B** se používá pro lepení nejvíce namáhaných sestav kabin vozidel a autobusů, nástavb automobilů, drážních vozidel a pod. v automobilovém průmyslu jakož i v mnoha jiných oblastech. Je vhodný ke konstrukčnímu lepení včetně lepení autoskel. Je možno lepit barevné kovy a oceli přímo nebo v lakovaném stavu, skelné lamináty, obklady z plastických hmot mimo PE, sklo, překližky, dřevo a podobně. Je rovněž dobře použitelný jako opravárenský materiál k lepení a těsnění.

### Aplikace:

**DINITROL 515 A/B** se aplikuje pomocí míchacích zařízení, které jsou k dostání, např. SCANREX. Komponent DINITROL 515 A se aplikuje z hoboku pomocí pístového čerpadla. Urychlující složka DINITROL 515 B se přimíchává z kartuší nebo salámů prostřednictvím dávkovacích zařízení. Mísící poměr je 100 : 5 ( DIN 515 A : DIN 515 B, v závislosti na objemu ). Mísící zařízení je doporučováno statické 18 míchacími prvky ( články ). DINITROL 515 A/B se aplikuje při běžné dílenské teplotě ( +5°C až +35°C ), teplota má omezený vliv na proces rychlosti zrání. Slepované povrchy musí být upraveny odpovídajícím způsobem, jako při lepení běžnými PUR lepidly DINITROL, (CLEANER 520, MULTIPRIMER 550, při lepení autoskel PRIMER 530).

## TECHNICKÝ LIST

### TECHNICKÁ DATA:

#### DINITROL 515 A - reaktivní polyurethan

Vlastnost	Hodnota
Barva , vzhled	černá pasta
Hustota	1,17 g/cm <sup>3</sup>

#### DINITROL 515 B - urychlující složka

Vlastnost	Hodnota
Barvy, vzhled	bílá pasta
Hustota	1,51 g/cm <sup>3</sup>
Mísicí poměr	100: 2 až 100 : 5
	( 515A : 515B ) ( V/V )

#### DINITROL 515 A/B - lepicí - těsnící hmota

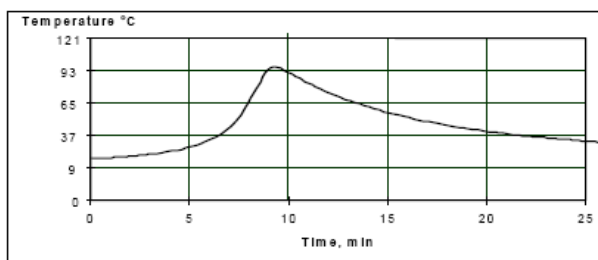
Vlastnost	Hodnota
Stálost	velmi dobrá
Doba zpracovatelnosti lepidla	max. 30 min
Pevnost ve střihu	3 h 3,5 Mpa 6 h 4 Mpa 24 h 5 Mpa 168 h 6 Mpa
Pevnost v tahu	8 MPa
Poměrné protažení	600 %
Tvrdost – Shore A	50
Teplota proměny na sklo	< - 40°C



# PLEXUS MA420

**Description** Plexus™ MA420 is a two-part methacrylate adhesive designed for structural bonding of thermoplastic, metal, and composite assemblies<sup>1</sup>. Combined at a 10:1 ratio, it has a working time of 4 to 6 minutes and achieves 75% of ultimate strength in 15 to 18 minutes. Plexus MA420 is the standard choice for composites bonding applications in the transportation industry, because it requires virtually no surface preparation. In addition, this product provides a unique combination of excellent fatigue endurance, outstanding impact resistance, and superior toughness. Plexus MA420 is available in off-white or blue colours and is supplied in ready to use cartridges, 20 litre pails or 200 litre drums to be dispensed as a non-sagging gel.

<b>Characteristics</b>	<b>Room Temperature Cure</b>		
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Working Time<sup>2</sup></li> <li>Fixture Time<sup>3</sup></li> <li>Operating Temperature</li> <li>Gap Filling<sup>7</sup></li> <li>Mixed Density</li> <li>Flash Point</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>4 – 6 minutes</li> <li>15 – 18 minutes</li> <li>-55°C – 121°C</li> <li>1mm to 8mm</li> <li>0.97 g/cc</li> <li>9°C</li> </ul>	
<b>Chemical Resistance<sup>4</sup></b>	<b>Excellent resistance to:</b>		<b>Susceptible to:</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hydrocarbons</li> <li>Acids and Bases (3-10 pH)</li> <li>Salt Solutions</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Polar Solvents</li> <li>Strong Acids and Bases</li> </ul>
<b>Physical Properties (uncured) – Room Temperature</b>			
	Viscosity, cP Colour Density, g/cc Mix Ratio by Volume Mix Ratio by Weight Mixer Recommendation:	<b>Adhesive</b> 100,000 – 125,000 Off-White 0.96 10 8.9 Cartridge (380ml): Bulk:	<b>Activator</b> 25,000 – 35,000 Blue 1.09 1 1 MC10:24 Refer to ITW Plexus <sup>5</sup>
<b>Mechanical Properties (Cured) Room Temperature</b>	<b>Tensile (ASTM D638)</b>		
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Strength, MPa</li> <li>Modulus, MPa</li> <li>Strain to Failure (%)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>18.6 – 20.6</li> <li>517 - 689</li> <li>100 - 125</li> </ul>	
<b>Recommended for:</b>			
	<ul style="list-style-type: none"> <li>ABS</li> <li>Acrylics</li> <li>FRP</li> <li>Gelcoats<sup>6</sup></li> <li>Steel, Carbon<sup>9</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>PVC</li> <li>Polyesters (including DCPD modified)</li> <li>Aluminium*</li> <li>Steel, Stainless*</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Styrenics</li> <li>Urethanes (general)</li> <li>Vinyl Esters</li> </ul> <p>* Plexus Primer Suggested</p>
<b>Lap Shear (ASTM D1002)</b>	<b>Cohesive Strength MPa</b>	12 – 15.5	



Typical Exotherm Curve for MA420 at 23°C (10 grams)<sup>5</sup>

# PLEXUS MA420

## HANDLING AND APPLICATION

Plexus® MA420 adhesive (Part A) is flammable. Contents include Methacrylate Ester. Keep containers closed after use. Wear gloves and safety glasses to avoid skin and eye contact. Wash with soap and water after skin contact. In case of eye contact, flush with water for 15 minutes and get medical attention. Harmful if swallowed. Keep out of reach of children. Keep away from heat, sparks, and open flames. Reference the Material Safety Data Sheet for more complete safety information.

Note: Because of the rapid curing features of this product, large amounts of heat are generated when large masses of material are mixed at one time. The heat generated by the exotherm resulting from the mixing of large masses of adhesive can result in the release of entrapped air, steam, and volatile gases. To prevent this, use only enough material as needed for use within the working time for the product and confine gap thickness to no more than 8mm. Questions relative to handling and applications should be directed to ITW Plexus at +44 (0)870 458758

## DISPENSING ADHESIVE

MA420 may be applied manually or with automated equipment. Static mixer selection is critical to the proper mixing and performance of Plexus adhesives. For additional information concerning meter-mix equipment, contact ITW Plexus Sales Representatives. Pre-measured cartridges are also available, as well as the hand-held guns with which to dispense the adhesive. To assure maximum bond strength, surfaces must be mated within the specified working time. Use sufficient material to ensure the joint is completely filled when parts are mated and clamped. All adhesive application, part positioning, and fixturing should occur *before* the working time of the mix has expired. After indicated working time, parts must remain undisturbed until the fixture time is reached. Automated equipment should be constructed of stainless steel or aluminum. Avoid contact with copper or copper containing alloys in all fittings, pumps, etc. Seals and gaskets should be made of Teflon, Teflon-coated PVC foam, ethylene/propylene or polyethylene. Avoid the use of Viton, BUNA-N, Neoprene or other elastomers for seals and gaskets. Clean up is easiest *before* the adhesive has cured. Citrus terpene or N-methyl pyrrolidone (NMP) containing cleaners and degreasers can be used for best results. If the adhesive is already cured, careful scraping, followed by a solvent wipe may be the most effective method of clean up.

## EFFECT OF TEMPERATURE

Application of adhesive at temperatures between 18°C and 26°C will ensure proper cure. Temperatures below 18°C will slow cure speed; above 26°C will increase cure speed. The viscosities of Parts A and B of this adhesive are affected by temperature. To ensure consistent dispensing in meter-mix equipment, adhesive and activator temperatures should be held reasonably constant throughout the year.

## STORAGE AND SHELF LIFE

Shelf life of MA420 adhesive (Part A) is 1 year. Shelf life of activator (Part B), including cartridges that contain activators, is 9 months. Shelf life is based on continuous storage between 12°C and 23°C. Long term exposure above 23°C will reduce the shelf life of these materials. Prolonged exposure of activators, including cartridges that contain activators, above 37°C quickly diminishes the reactivity of the product and should be avoided. These products should never be frozen. For **expiry date** see label.

## Notes

1. ITW Plexus strongly recommends that all substrates be tested with the selected adhesive in the anticipated service conditions to determine suitability.
2. Working Time: The time elapsed between the moment Parts A and B of the adhesive system are combined and thoroughly mixed and the time when the adhesive is no longer useable. Times presented were tested at 23°C.
3. Fixture Time: The interval of time after which surface being joined will support a 1 kg dead weight on a 12.7 mm overlap joint 25.4 mm wide without movement. Times presented were tested at 23°C.
4. Resistance to chemical exposure varies greatly based on several parameters including: temperature, concentration, bondline thickness, and duration of exposure. The chemical resistance guidelines listed assume long term exposures at ambient conditions.
5. In a typical bond line, exotherm temperatures will be lower than the temperatures shown.
6. Urethane-modified super-weathering gelcoats may require an alternate adhesive. As with all substrates, these gelcoats should be tested with the selected adhesive to determine suitability.
7. For bond gaps below the minimum quoted please contact ITW Plexus.
8. All machines dispensing Plexus should have shrouds where applicable.
9. Exterior applications require the use of coatings or primers that inhibit oxidation of the steel.

All information on this data sheet is based on laboratory testing and is not intended for design purposes. ITW Plexus makes no representations or warranties of any kind concerning this data. Due to variance of storage, handling and application of these materials, ITW Plexus cannot accept liability for results obtained.

Plexus MA420 Rev 05, 03/06